# BEITRÄGE ZUR KENNTNIS DER STETIGEN UND STUFENWEISEN MAGNETISIERUNG.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

VORGELEGT VON

**FRANZ RÜCKER**

AUS MITTELWALDE i. SCHLESIEN.

HALLE a. S.

HOFBUCHDRUCKEREI VON C. A. KAEMMERER & Co.

1905.

Termin der mündlichen Prüfung: 3. März 1905.

DEM ANDENKEN MEINER ELTERN!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546028_0135

# Inhaltsverzeichnis.


Seite

Einleitung . . . . . 7

Untersuchungen nach der ballistischen Methode 9

Zur Methode . . . . . 9

Apparate . . . . . 11

Formeln zur Berechnung von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ . . . . 20

Versuche mit einem Ringe aus weichem Eisen . 22

Versuche mit einem Ringe aus gehärtetem Wolframstahl . . . . . 53

Herstellung der Drahtringe . . . . . 57

Versuche mit dem Ringe aus Blumendraht . . . 58

Versuche mit dem Ringe aus hartem Stahldraht . 62

Die Ergebnisse der Versuche nach der ballistischen Methode . . . . . 66

Untersuchungen nach der unipolaren Methode 67

Neu hinzukommende Apparate . . . . . 68

Versuchsanordnung . . . . . 69

Formeln zur Berechnung von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ . . . . 70

Versuche mit Blumendraht . . . . . 71

Versuche mit Stahldraht . . . . . 72

Untersuchungen über die magnetische Nachwirkung . . . . . 74

Zur Versuchsausführung . . . . . 75

Versuche mit dem Ringe aus weichem Eisen . . 77

Versuche mit dem Ringe aus gehärtetem Wolframstahl . . . . . 81

Seite

Versuche mit dem Ringe aus Blumendraht . . . 84
Versuche mit dem Ringe aus hartem Stahldraht . 88
Ergebnis der Beobachtung der magnetischen Nachwirkung . . . . . 92
Der Einfluss der magnetischen Nachwirkung auf die ballistischen Messungen . . . . . 95
Anwendung der Näherungsformeln . . . . . 99
a) Ring aus weichem Eisen . . . . . 100
b) Ring aus gehärtetem Wolframstahl . . . 101
c) Ring aus Blumendraht . . . . . 102
d) Ring aus hartem Stahldraht . . . . . 103

Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . . 105

# Einleitung.

Zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften ferromagnetischer Substanzen bedient man sich gewöhnlich entweder der magnetometrischen oder der ballistischen Methode. Man unterwirft hierbei das Versuchsstück meist sog. zyklischen Magnetisierungsprozessen, d. h. man steigert die magnetisierende Kraft von Null anfangend bis zu einem bestimmten Betrage, verringert sie dann bis Null, steigert sie wieder aber in entgegengesetzter Richtung bis zu demselben Betrage und vermindert sie wieder bis Null u. s. f. Das Steigern und Verringern der magnetisierenden Kraft kann verschiedenartig erfolgen: stufenweise und, von der ballistischen Methode abgesehen, auch stetig oder kontinuierlich. Jede Änderung der magnetisierenden Kraft bewirkt im allgemeinen auch eine Änderung des magnetischen Zustandes des Versuchsstücks. Es fragt sich nun, ob diese Wirkung von der Art jener Änderung abhängig ist oder nicht. Zur Beantwortung dieser Frage sind schon wiederholt Versuche angestellt worden.

So haben Gumlich und Schmidt[1]) Rotationsellipsoide aus Eisen und aus Stahl daraufhin untersucht und gefunden, dass insbesondere bei weichem Material eine solche Abhängigkeit tatsächlich vorhanden ist. Es nahm in schwachen

1) E. Gumlich und E. Schmidt. Über den Unterschied zwischen stetiger und unstetiger Magnetisierung. E. T. Z. Bd. 21. Jahrg. 1900. pag. 233.

Feldern die Maximalinduktion mit der Grösse der Stufen zu. In starken Feldern war dagegen der Unterschied in der Maximalinduktion nicht merklich, wohl aber zeigte sich mit wachsender Stufenzahl eine Abnahme des remanenten Magnetismus und der Koerzitivkraft. Zu einem bei schwachen Feldern gleichen Ergebnisse hatten schon früher Beobachtungen nach der ballistischen Methode geführt. So fand H. Lehmann[1]) gelegentlich seiner Untersuchungen über die Magnetisierung radial geschlitzter Toroide, dass „die Summe der Magnetisierungsänderungen, welche das J (= Intensität der Magnetisierung) für das höchste angewandte $\mathfrak{H}$ (= Feldstärke) ergab, um so kleiner ausfiel, je grösser die Zahl der Schritte war, die zu diesem $\mathfrak{H}$ führte." Die gleiche Beobachtung machten auch M. Wien[2]) und M. Heyse.[3]) Da aber all' diese ballistischen Versuche nicht auf verschiedene Feldstärken ausgedehnt wurden, so konnte man sich über das Auftreten der beobachteten Erscheinung bei verschiedenen Feldstärken nur auf Vermutungen stützen. Lehmann meint, der auftretende Unterschied sei nur in schwachen Feldern merklich. Wien glaubt, dass sich auch bei höheren Feldstärken noch Unterschiede finden würden. Auf den Grund, der beide zu ihrer Annahme veranlasst, werde ich an geeigneter Stelle[4]) noch zurückkommen. Heyse endlich spricht ganz allgemein die Ansicht aus, „dass weniger Stufen bis zu derselben Höhe der magnetisierenden Kraft ein grösseres J liefern." Die erwähnten Beobachtungen nach der ballistischen Methode beziehen sich auf ringförmige Versuchsstücke.

Nun ist bekanntlich bei der Magnetisierung die Gestalt des zu untersuchenden Objektes nicht ohne Einfluss

---

1) H. Lehmann. Magnetisierung radial geschlitzter Eisenringe. Wied. Ann. Bd. 48. 1893. pag. 422.

2) M. Wien. Über die Magnetisierung durch Wechselstrom. Wied. Ann. Bd. 66. 1898. pag. 860 ff.

3) M. Heyse. Inaug.-Diss. Halle 1901. pag. 33.

4) pag. 75.

auf dessen magnetischen Zustand. Andererseits können auch gewisse Mängel der verwendeten Methode zu ungenauen Resultaten führen. Es wäre also nicht angängig, die von Gumlich und Schmidt nach der magnetometrischen Methode für Ellipsoide gefundenen Ergebnisse ohne weiteres auch auf ringförmige Gebilde zu übertragen. Auf freundliche Anregung und mit gütiger Unterstützung des Herrn Professor Dr. E. Dorn habe ich im Laufe des vergangenen Jahres analoge Versuche an Toroiden angestellt. Die Resultate, die sich hierbei ergaben, veranlassten mich, einige Beobachtungen an dünnen Drähten nach der sog. unipolaren Methode auszuführen und dann auch den Einfluss der magnetischen Nachwirkung bei der Magnetisierung von Ringen weiter zu verfolgen.

## Untersuchungen nach der ballistischen Methode.

### Zur Methode.

Ringförmige Gebilde bilden geschlossene magnetische Kreise. Zur Bestimmung ihrer magnetischen Eigenschaften gibt es nur eine Methode: die ballistische.[1]) Da durch sie aber nur die augenblickliche Änderung des herrschenden Induktionsflusses angegeben wird, so ist eine kontinuierliche oder stetige Magnetisierung hier nicht anwendbar. Es ist jedoch anzunehmen, dass eine Änderung der magnetisierenden Kraft in vielen Stufen nahezu das gleiche Ergebnis haben wird wie eine stetige Magnetisierung. Diese Vermutung fanden Gumlich und Schmidt[2]) vollauf bestätigt. So wurde denn auch bei den vorliegenden Versuchen danach gestrebt, durch eine grosse Stufenzahl der stetigen Änderung möglichst nahe zu kommen. Die Höchstzahl der

1) Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode ist enthalten in: J. A. Ewing. Magnetic Induction in Iron and other Metals. Deutsch von L. Holborn und St. Lindeck. 1892. pag. 59 ff.

2) l. c.

verwendeten Stufen betrug 24; ausserdem wurden auch Beobachtungen mit den Stufenzahlen 12, 8, 6, 4, 3, 2 und 1 ausgeführt. Um jeden Zweifel an der Bedeutung der so gebrauchten Bezeichnungen auszuschliessen, sei folgendes bemerkt. Unter der Stufenzahl n ist zu verstehen, dass n Stufen erforderlich sind, um von der Feldstärke Null bis zur höchsten verwendeten Feldstärke $\mathfrak{H}_{max}$ zu gelangen. n hat also bei meinen Versuchen die Zahlenwerte 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24. Eine Reihe von Beobachtungen mit verschiedenen Stufenzahlen bei gleicher Maximalfeldstärke nenne ich Serie. Für jeden Ring stellte ich in der Regel vier solcher Reihen von Beobachtungen an und zwar bei den Höchstfeldstärken von ungefähr 1,5, 10,0, 50,0 und 125,0 Gauss. Auf diese Weise hoffte ich eine etwaige Abhängigkeit des Einflusses der Stufenzahl von der Feldstärke in dem genannten Bereiche ermitteln zu können.

Die Magnetisierung der Ringe erfolgte in den oben erwähnten zyklischen Prozessen. Bei mehrfacher Wiederholung dieser Kreisprozesse erfahren die Hysteresisschleifen besonders in schwachen Feldern gewisse Änderungen. Es ist dies eine Erscheinung, die von G. Wiedemann[1]) entdeckt und dann von H. Tomlinson,[2]) der sie „molekulare Akkommodation“ nannte, weiter untersucht wurde. Dass ich bei meinen Untersuchungen mit dieser Tatsache zu rechnen haben würde, zeigten einige Vorversuche. Ich habe infolgedessen bei meinen Beobachtungen fast ausnahmlos[3]) in dem durch folgende Zeichen

$$0 \rightarrow +\mathfrak{H}_{max} \rightarrow 0 \rightarrow -\mathfrak{H}_{max} \rightarrow 0 + \mathfrak{H}_{max} \rightarrow 0 \rightarrow -\mathfrak{H}_{max}$$

angedeuteten Magnetisierungsprozesse zwar alle Ablesungen notiert, jedoch nur die auf den unterstrichenen Teil sich

1) G. Wiedemann. Die Lehre von der Elektrizität. 2. Aufl. Bd. 3. pag. 491. 1895.

2) H. Tomlinson. Proc. Roy. Soc. London 47. 13. 1889; entnommen aus G. Wiedemann. Die Lehre von der Elektrizität. 2. Aufl. Bd. 3. pag. 492.

3) Vergl.: Stahlring Serie 1 und Ring aus Stahldraht Serie 1.

beziehenden verwertet. Hierdurch war eine gleichmässigere Gestalt der Kurven und auch ein besseres Vergleichen der erhaltenen Resultate gewährleistet. Die vor jedem Versuche nötige Entmagnetisierung erfolgte mittels einer kleinen Wechselstrommaschine.

## Apparate.

Zur Lösung der mir gestellten Aufgabe, die etwaige Abhängigkeit der Magnetisierung von der Grösse der Stufen festzustellen, bedurfte ich vor allem eines Rheostaten, der sicher und schnell alle hierfür nötigen Kombinationen in der Schaltung zuliess und mir auch das Arbeiten mit stärkeren Strömen gestattete. Sodann sollten auch die Stufen selbst gleich gross sein, um so eine Änderung der Feldstärke um möglichst gleiche Beträge bewirken zu können. Die vorhandenen Widerstandssätze genügten diesen Anforderungen in keiner Weise. Daher wurde auf Vorschlag des Herrn Professor Dr. Dorn ein Rheostat angefertigt, der sich bei den Untersuchungen aufs beste bewährt hat. Über die Herstellung desselben und seinen Gebrauch will ich im folgenden einige nähere Angaben machen.

Der Rheostat hat entsprechend der Höchstzahl der Stufen 24 Widerstandsrollen. Der Widerstand einer jeden Rolle beträgt 50 ≍O➢. Um die unangenehmen Einflüsse von Temperaturschwankungen möglichst zu vermeiden, gelangte Manganindraht (0,55 mm dick) zur Verwendung. Die Wickelung erfolgte in 4 Abschnitten nach der Methode von Chaperon,[1]) die Störungen infolge von Selbstinduktion und Kapazität so gut wie ausschliesst. In Fig. 3 stellt A eine solche Rolle dar. Auf einer ca. 14 cm langen Messingröhre von 3 cm Durchmesser befinden sich in Abständen von je 2,5 cm die Messingringe a, b, c, d, e. Durch sie sind die Windungsabschnitte $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$ bestimmt. Die Ringe erleichterten das Wickeln. Etwaige scharfe Kanten an ihnen waren

1) Über diese Methode enthält genauere Angaben. F. Kohlrausch. Lehrbuch der praktischen Physik. 9. Aufl. 1901. pag. 353.

vorher abgeschliffen worden. Vor und nach dem Bewickeln wurden die Röhren mehrmals mit Schellack bestrichen. Zwecks künstlichen Alterns wurden die Rollen in einem Asbestgehäuse 5 Std. lang auf 130—140° erhitzt und nachher das Bestreichen mit Schellack noch mehrere Male wiederholt. Die Isolation zwischen der Drahtwicklung und der Messingröhre war, wie eine diesbezügliche Prüfung ergab, vorzüglich.

Die Rollen wurden nun mittels Messingschrauben auf die eine Seite einer 1,7 cm dicken, 45,0 cm langen und 26,0 cm breiten Ebonitplatte geschraubt. Auf der anderen Seite dieser Platte befindet sich die Schaltvorrichtung. Fig. 1 zeigt die Anordnung. Es stellen die schraffierten Teile einschliesslich der in ihnen befindlichen Kreise die auf die Platte mittels Schrauben befestigten Metallteile dar. Diese bestehen aus reinem Kupfer und sind vernickelt. Die langen Schienen mit den Klemmen A, B, C dienen zur Zu- und Ableitung des Stromes; die kleineren Blöcke stehen mit den Rollen in Verbindung, deren Lage in dieser Figur durch strichpunktierte Kreise angedeutet ist. Die kleinen Kreise in der Schraffierung geben die kleinen Quecksilbernäpfchen wieder, die eine leichte Verbindung der einzelnen Teile ermöglichen. Es sind kleine Bohrlöcher im Kupfer, die amalgamiert und dann mit etwas Quecksilber gefüllt wurden. Die Verbindung selbst wird durch kleine Bügel von 5 mm dickem Kupferdraht hergestellt. Die Enden derselben stossen auf den Grund der Näpfe auf und geben so einen sicheren Kontakt. Diese Schliessungsbügel haben Ebonitgriffe. Ihre Gestalt ist aus Fig. 4 zu erkennen.

Über die Verbindung der kleinen Kupferblöcke mit den Rollen gibt am besten Fig. 3 Aufschluss. In die Kupferstückchen B und C ist je ein 5 mm dicker Zuleitungsdraht eingeschraubt und festgelötet. Dieser geht durch die Platte D hindurch und reicht etwas über die Rolle A hinaus. An seinem unteren Ende befindet sich eine kleine Schraube $B_1$ resp. $C_1$ zum Festklemmen des einen Draht-

endes der Rolle A. Ist nun von den beiden Enden $B_2$ und $C_2$ derselben $B_2$ mit $B_1$ und $C_2$ mit $C_1$ verbunden und führt E den Strom zu, F ihn ab, dann ist durch Einlegen der Bügel in f g und i k die Rolle A in den Stromkreis eingeschaltet. Die zu einer jeden Rolle gehörigen kleinen Kupferstücke B und C sind mit derselben Ziffer versehen. Der Widerstand der einzelnen Rollen wurde mittels der Wolffschen Brücke[1]) abgeglichen und die Drahtenden sodann festgelötet. Die Lötstellen und die Zuleitungsdrähte wurden mehrmals mit Schellack bestrichen. Die hierauf erfolgte Widerstandsbestimmung der Rollen ergab eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwerte (50 ΩO).

Für den Gebrauch wurden nun die Rollen mit einem Petroleumbade umgeben. Bei eintretender Erwärmung durch den Strom gestatten die sechs Löcher an dem oberen Ende einer jeden Röhre A (Fig. 3) den Temperaturausgleich zwischen dem Petroleum in der Röhre mit dem ausserhalb. Das Loch D (Fig. 1) in der Ebonitplatte dient zur Aufnahme eines Turbinenrührers; die kleine Öffnung E (Fig. 1) ist für das Thermometer bestimmt.

Ich komme nun zur Beschreibung der möglichen Schaltungsarten und will diese an den Rollen 1 und 2 (Fig. 1) veranschaulichen. Die übrigen Rollen mögen daher vorläufig als ausgeschaltet angesehen werden. Die Klemmen A und B seien mit einer Stromquelle verbunden. Aus der Fig. 1 ist ersichtlich, dass bei den Quecksilbernäpfen a bis k die Abstände (von Mitte zu Mitte gerechnet) a b, b h, d e, f g, i k, h c, d i gleich sind. Hierdurch ist es möglich, nur Schliessungsbügel einer Grösse verwenden zu können. Für die genannten beiden Rollen stehen mir vier Schliessungsbügel zur Verfügung. Ich nehme nun an, zwei von diesen Bügeln stellen die Verbindungen a b und f g her. Dann sind die Rollen 1 und 2 noch stromlos. Verbinde ich aber durch den dritten Bügel d mit e, so habe ich die Rolle 1,

1) Diese Messbrücke wurde von Herrn Professor Dr Dorn entworfen und geprüft.

also 50 ⩾O➢, eingeschaltet. Lege ich den vierten Bügel in die Näpfe i und k, so ist auch das Einschalten der Rolle 2 vollzogen. Da diese auch 50 ⩾O➢ hat, so beträgt infolge des Parallelschaltens der beiden Rollen der Widerstand nur 25 ⩾O➢. Statt in zwei Schritten kann ich aber dasselbe auf einfache Weise in einem Schritte erreichen. Ich lasse die Bügel a b und f g liegen, lege aber den Bügel, der vorher i mit k verband, so, dass er die Verbindung von h und c herstellt. Tauche ich nun den vierten Bügel wieder in die Näpfe d und e, so habe ich sofort die Rollen 1 und 2 parallel geschaltet. Da die Anordnung bei den übrigen Rollen genau dieselbe ist, so lässt sich das angewendete Verfahren ohne weiteres auch auf diese übertragen. Will ich z. B. die ersten vier Rollen nicht in vier Schritten, sondern in einem Schritte parallel schalten, so habe ich nur, vorausgesetzt, dass die a b entsprechenden Verbindungen vorhanden sind, durch die Bügel i k, m n, p q die Näpfe h c bezw. m i bezw. o l zu verbinden und d e einzulegen. Statt in einem Schritte kann ich dasselbe auch in zwei Schritten erreichen, wenn ich die Bügel h c und o l liegen lasse und die Verbindungen d e und m n durch die beiden anderen Bügel herbeiführe. Auf diese Weise lassen sich nun leicht unter Voraussetzung gleicher Stufen bei den 24 Rollen folgende Kombinationen herstellen.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | Stufen | durch | Parallelschalten | der | einzelnen | Rollen. | |
| 12 | „ | „ | „ | je | 2 | parallel | gesch. Rollen |
| 8 | „ | „ | „ | „ | 3 | „ | „ „ |
| 6 | „ | „ | „ | „ | 4 | „ | „ „ |
| 4 | „ | „ | „ | „ | 6 | „ | „ „ |
| 3 | „ | „ | „ | „ | 8 | „ | „ „ |
| 2 | „ | „ | „ | „ | 12 | „ | „ „ |
| 1 | Stufe | durch | Einschalten | aller | 24 | „ | „ „ |

Obwohl bei meinen Versuchen fast ausschliesslich[1]) nur diese Kombinationen Verwendung fanden, so will ich

1) Die Ausnahmen sind: Der spezielle Versuch beim Eisenring, pag. 48 und die Untersuchungen nach der unipolaren Methode.

doch nicht unterlassen, auf die anderen möglichen Schaltungen hinzuweisen. Bisher ist nur das Prinzip der Parallelschaltung angewendet worden; das Hintereinanderschalten lässt sich aber auch leicht ausführen. Soll z. B. der Strom die Rollen 1 und 2 nacheinander durchlaufen, so ist die Schaltung folgendermassen. Es werden die Näpfe f und g, h und b, d und e durch Bügel miteinander verbunden. Ein Bügel bleibt also hier übrig. Der Weg des Stromes ist gekennzeichnet durch: f, g, Rolle 2, h, b, Rolle 1, d, e. Auch hier lässt sich dieser Spezialfall sofort verallgemeinern. Durch geeignete Verbindung hinter- und nebeneinander geschalteter Rollen können noch eine ganze Reihe anderer Schaltungsarten hergestellt werden.

In zwei Fällen können die Schliessungsbügel nicht mehr verwendet werden und zwar dann nicht, wenn die Rollen 12 und 13 entweder parallel oder hintereinander geschaltet werden sollen. Hierfür sind aber zwei passende Bügel hergestellt worden. Der eine, kürzere, dient zur Verbindung von s mit t und somit zum Nebeneinanderschalten der beiden Rollen, der andere, längere, ermöglicht die Verbindung von r und t und gestattet daher ihr Hintereinanderschalten.

Fig. 2 zeigt den Turbinenrührer. Er besteht aus einer vernickelten Messingröhre A, in der die Welle B mit den Schaufeln C in Rotation versetzt werden kann. Diese wird herbeigeführt durch einen um die Scheibe D geschlungenen Faden, der die Bewegung einer kleinen von der Wasserleitung getriebenen Turbine auf die Welle überträgt. Dreht sich die Scheibe in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung, so wird das kältere durch die Löcher bei E eintretende Petroleum nach oben gehoben, wo es bei F wieder austritt. Hierdurch wird eine gleichmässige Temperaturverteilung im Petroleum erzielt. Die Dimensionen des Rührers sind ungefähr die gleichen, wie die der Messingröhren bei den Rollen des Rheostaten; auch er ist an die Ebonitplatte festgeschraubt.

Wenn nun auch durch den Rheostaten selbst das Ziel, gleiche Stufen zu erhalten, erreicht war, so wurde dies doch noch insofern in Frage gestellt, als beim Gebrauch ja nicht der Widerstand des Rheostaten allein massgebend ist; denn zu seinem Widerstande tritt noch der Widerstand des übrigen Stromkreises hinzu. Den letzteren nach Möglichkeit zu vermindern, war die nächste Aufgabe.

Da ein Einschalten von Ballastwiderstand, wie es zur Erzeugung schwacher Felder nötig gewesen wäre, von vornherein ausgeschlossen war, so wurde in diesen Fällen eine Stromabzweigung benützt, wie sie in Fig. 7 schematisch dargestellt ist. Der Hauptstrom fliesst hier durch A B C E D A und kann durch den technischen Widerstand B reguliert werden. C D ist ein 2 mm dicker Manganindraht, auf dem sich die verschiebbare Klemme E befindet. Von C und E wird der Gebrauchsstrom abgezweigt, der dann in der gewünschten Weise durch den Bügelrheostaten G variiert werden kann.

Die Anwendung dieser Schaltung genügte aber noch nicht, da der Strommesser in der Abzweigung — ein Präzisionsamperemeter von Siemens & Halske — bei der Stöpselung auf 0,001 A> und 0,01 A> einen zu hohen Widerstand besitzt und so, wie einige Vorversuche zeigten, recht ungleiche Stufen herbeiführte. Um diesen Mangel zu beseitigen, wurde das zu einem Pyrometer von Siemens & Halske gehörige Galvanometer mit einem Nebenschluss benützt. Von den beiden Klemmen a und b der Abzweigung (Fig. 7) führen Drähte zu dem Pyrometer F. Der Draht a b ist aus Manganin und sein Widerstand so bemessen, dass einer Ablenkung von einem Skalenteil am Pyrometer 0,001 A> in der Abzweigung entspricht. Dies Umaichen geschah mittels des Präzisionsamperemeters von Siemens & Halske, dessen Angaben bei anderen Messungen[1]) wiederholt mit dem Silbervoltameter kontrolliert worden sind. Auf gleiche Weise behandelt, gestattet ein anderer Manganin-

1) Erich Ziegler. Inaug.-Diss. Halle 1904. pag. 13.

draht c d (Fig. 7) bei analoger Schaltung das Ablesen von 0,01 »A« pro Skalenteil. Die Klemmen a, b, c, d sind isoliert auf einem Holzbrett befestigt, auf das ein passender Deckel gesetzt wird, um Thermoströme zu vermeiden.

Infolge dieser Massregeln wurde nun auch der Unterschied zwischen aufeinander folgenden Stufen in schwachen Feldern ziemlich gering. Bei den höheren Feldstärken boten sich in dieser Beziehung keine Schwierigkeiten. Hier konnte bei passender Wahl der Stromquelle das Abzweigen vermieden und auch bei den stärkeren Strömen das Präzisionsamperemeter mit 0,1 »A« Stöpselung benützt werden.

Zur Bestimmung der Änderung der magnetischen Induktion misst man bekanntlich bei der ballistischen Methode die Elektrizitätsmenge, die durch die Variation der Kraftlinienzahl innerhalb der Sekundärspule in dieser ins Fliessen gebracht wird. Hierzu verwendete ich ein Deprez-d'Arsonval-Galvanometer von Edelmann. Dasselbe war auf einer in die Wand eingelassenen Steinplatte aufgestellt. Der kräftige Hufeisenmagnet, zwischen dessen Polen die Drehspule sich befindet, erzeugt ein starkes Magnetfeld und macht so das Instrument von Einflüssen äusserer magnetischen Störungen fast unabhängig. Die Schwingungsdauer des Galvanometers betrug bei vorhandener Dämpfung 13,1 sec und der Abstand der Doppelmillimeterskala vom Spiegel ca. 4 m. Die Ablesungen erfolgten mittels eines grossen Steinheil-Fernrohrs. Durch den Kommutator L (Fig. 7) im Sekundärkreise konnte bewirkt werden, dass der Galvanometerausschlag immer nach derselben Seite erfolgte.

Bei der Verwertung des Galvanometers zur Ermittelung des Stromintegrals spielt die Dämpfung des Instrumentes eine wichtige Rolle. Sie ist bekanntlich umgekehrt proportional dem Gesamtwiderstande des Stromkreises und ändert sich daher mit diesem. Die Änderung der Empfindlichkeit durch Variation des Gesamtwiderstandes gibt somit auch eine variable Dämpfung. Dies ist aber für die Rechnung nicht angenehm und erschwert das Vergleichen der Ausschläge bei ver-

schiedener Empfindlichkeit. Es war infolgedessen wünschenswert, mit konstanter Dämpfung zu arbeiten. Durch eine geeignete Verbindung von passenden Nebenschluss- und Vorschaltwiderständen ist dies auch zu erreichen.[1]) Die Erfüllung der dabei nötigen drei Bedingungen:

a) Die Empfindlichkeit soll auf $\frac{1}{n}$ herabgesetzt werden;

b) Die Dämpfung soll unverändert bleiben oder, da magnetisches Feld und Drehspule sich nicht ändern, der Widerstand der Schliessung des Galvanometers soll unverändert bleiben;

c) Der Widerstand des Stromkreises soll unverändert bleiben;

erfordert auch drei Variable. Diese sind (Fig. 11)

$\alpha$) ein Nebenschluss x;

$\beta$) ein Vorschaltwiderstand y nach dem Galvanometer hin;

$\gamma$) ein Vorschaltwiderstand z vor den Nebenschluss.

Nun sei:

G der Widerstand in dem Teile A G B einschliesslich des Widerstandes des Galvanometers und ausschliesslich des Widerstandes y;

W der Widerstand des Teiles A W B (z ausgeschlossen).

Dann ergeben sich aus den drei Bedingungen die Gleichungen:

$$x = \frac{G + y}{n - 1},$$

$$y = W - \frac{x\,(W + z)}{W + x + z},$$

$$z = G - \frac{G + y}{n},$$

und hieraus folgt die auch zur Auswertung von x und z wichtige Gleichung:

---

1) Wilhelm Volkmann. Nebenschlusskasten zum Drehspulengalvanometer. Drud. Ann. Bd. 10. 1903. pag. 217.

$$y = \frac{\left(n - 2 + \frac{1}{n}\right) \cdot G \cdot W + (n-1)\,W^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) G^2}{\left(n - \frac{1}{n}\right)(G + W)}.$$

Hat man bei nicht herabgesetzter Empfindlichkeit W und G so gewählt, dass die Dämpfung für den Gebrauch gerade günstig ist, so kann man aus diesen Gleichungen die für jede andere Empfindlichkeit nötigen Werte für x, y, z berechnen, durch deren Einschalten nichts an der Dämpfung geändert wird. Die dann erhaltenen Ausschläge geben mit dem Faktor n multipliziert die Ausschläge in den bei unverminderter Empfindlichkeit geltenden Skalenteilen.

Bei meinen Beobachtungen betrug W 5 »O« und G 4 »O«; n sollte die Werte 10 und 100 haben. Hierzu gehören gemäss den Formeln die Werte:

$$x = 0{,}9, \quad y = 4{,}2, \quad z = 3{,}2,$$

bezw.

$$x = 0{,}09, \quad y = 4{,}9, \quad z = 3{,}91.$$

Die Widerstände x stellte ich her aus 0,5 bezw. 1,0 mm dickem Kupferdraht. Die Wicklung erfolgte bifilar. Die Widerstände y schaltete ich ein durch einen Stöpselrheostaten von Hartmann und Braun und die Widerstände z mittels eines Kurbelrheostaten. Kleine Differenzen wurden dabei durch Drahtstücke von entsprechendem Widerstande ausgeglichen. Die Empfindlichkeitsfaktoren n wurden bei jeder Änderung im Sekundärkreise, besonders aber bei jedem neuen Ringe, mehrmals bestimmt.

Als Etalon für die induzierte elektromotorische Kraft benützte ich einen Magnetinduktor mit abziehbarer Spule, mit dessen Hülfe ich auch die Empfindlichkeitsfaktoren ermittelte. Zur Vermeidung von Thermoströmen wurden alle Klemmen und Rheostate im Sekundärkreise mit Watte zugedeckt.

Die Ringe hingen bei allen Versuchen an dem aus der Fig. 5 erkenntlichen Holzgestell in einem Petroleumbade, dessen Temperatur durch ein Thermometer beobachtet wurde.

### Formeln zur Berechnung von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

In einem gleichförmigen Felde — ein solches liegt bei Ringen in grösster Annäherung vor — ist bekanntlich die Grösse der magnetischen Kraft, die Feldstärke, $\mathfrak{H} = 4\pi n i'$, wo $i'$ den durch die Spule fliessenden Strom in absoluten elektromagnetischen Einheiten bedeutet, und n die Anzahl der Windungen ist, die auf 1 cm der Spulenlänge kommen. Ist N die Gesamtwindungszahl der Primärspule und r der Radius des Leitkreises, so ist:

$$n = \frac{N}{2\pi r},$$

oder

$$\mathfrak{H} = \frac{4\pi i' N}{2\pi r} = 2\frac{i' N}{r}.$$

Bei meinen Versuchen bestand die Spule aus zwei Windungslagen. Es bleibt aber auch hier die letzte Formel gültig; denn sei die Windungszahl der einen Lage $N_1$ und die der anderen $N_2$, so ist:

$$\mathfrak{H} = \frac{2 i' N_1}{r} + \frac{2 i' N_2}{r} = \frac{2 i'}{r}(N_1 + N_2) = \frac{2 i' N}{r},$$

wenn $N_1 + N_2 = N$ gesetzt wird. Wird die Stromstärke in »A« ausgedrückt, so lautet die Beziehung:

$$\mathfrak{H} = \frac{0{,}2\,N}{r} \cdot i_{\text{Ampere}}.$$

Zur Berechnung der magnetischen Induktion $\mathfrak{B}$ führt folgende Betrachtung. Der Querschnitt der Sekundärspule sei q. Er werde durchsetzt von einer ferromagnetischen Substanz und einem Interferrikum. Ist der Querschnitt der ersteren $q_1$ und der des letzteren $q_2$, so ist $q = q_1 + q_2$. In dem Ferromagnetikum verlaufen die Magnetisierungslinien und vom Felde $\mathfrak{H}$ herrührende Kraftlinien, in dem Interferrikum nur diese. Die Anzahl der Kraftlinien, die durch die Einheit des Querschnitts hindurchgehen, beträgt in dem ersten Falle $4\pi J + \mathfrak{H}$ und in dem zweiten nur $\mathfrak{H}$, also die Gesamtzahl $(4\pi J + \mathfrak{H})\, q_1 + q_2\, \mathfrak{H}$. Es bedeutet hier J die Intensität der Magnetisierung. Infolge der Be-

ziehung $4\pi J + \mathfrak{H} = \mathfrak{B}$, wo $\mathfrak{B}$ die magnetische Induktion heisst, geht die letzte Summe über in $\mathfrak{B} q_1 + q_2 \mathfrak{H}$. Die hierdurch bestimmte Kraftlinienzahl durchsetzt den Gesamtquerschnitt q. Eine Änderung ihrer Anzahl erzeugt in jeder Windung der Umschnürung eine elektromotorische Kraft, die dieser Änderung entspricht. Ist $\mathfrak{N}$ die Anzahl der Windungen der Sekundärspule, so ergibt sich als Integral der induzierten elektromotorischen Kraft: $(\mathfrak{B} q_1 + q_2 \mathfrak{H}) \mathfrak{N}$. Die bei jeder Änderung induzierte Elektrizitätsmenge ist proportional dem Skalenausschlag $\alpha$. Der ganze in irgend einem Stadium vorhandene Magnetismus wird durch die Summe aller vorhergegangenen Ausschläge bestimmt. Der Widerstand des Sekundärkreises sei w; dann ist:

$$\frac{(\mathfrak{B} q_1 + q_2 \mathfrak{H}) \mathfrak{N}}{w} = C \cdot \Sigma \alpha.$$

Um den Reduktionsfaktor C zu eliminieren, benütze ich den in den Sekundärkreis geschalteten Magnetinduktor K (Fig. 7), der als Integral der induzierten elektromotorischen Kraft den Wert e gibt. $\beta$ sei der durch ihn bewirkte Galvanometerausschlag. Es besteht sodann die zweite Gleichung:

$$\frac{e}{w} = C \beta.$$

Aus den beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{(\mathfrak{B} q_1 + \mathfrak{H} q_2) \mathfrak{N}}{e} = \frac{\Sigma \alpha}{\beta}$$

oder

$$\mathfrak{B} = \frac{e}{q_1 \cdot \beta \cdot \mathfrak{N}} \Sigma \alpha - \frac{q_2}{q_1} \cdot \mathfrak{H}.$$

Zur Bestimmung von e schaltete ich den Magnetinduktor und einen Erdinduktor hintereinander in den Sekundärkreis. Die Windungsfläche des Erdinduktors sei F und die Vertikalkomponente des Erdmagnetismus V. Durch ein plötzliches Drehen des Erdinduktors um $180^0$ werden $2 F \cdot V$ Kraftlinien geschnitten. Ist $\gamma$ der dabei entstehende Galvanometerausschlag und w der Widerstand des Sekundärkreises, so gilt die Beziehung:

$$\frac{2F \cdot V}{w} = C \cdot \gamma.$$

Durch das Abziehen der Rolle des Magnetinduktors erhalte ich

$$\frac{e}{w} = C \cdot \beta.$$

Demnach ist: $$e = \frac{2F \cdot V \cdot \beta}{\mathfrak{S}}.$$

4 Beobachtungsserien (zu je 11 Beobachtungen) ergaben für e den Mittelwert 29530 [C. G. S.]. Für jede dieser Beobachtungsreihen war der Erdinduktor neu aufgestellt worden. Die grösste Abweichung von diesem Mittelwerte beträgt ca. $^1/_2\,^0/_0$. Die Anwendung des Magnetinduktors bot bei bequemerem Arbeiten auch den Vorteil, von den Schwankungen des Erdmagnetismus befreit zu sein, die sich beim Erdinduktor stets geltend machen.

**Versuche mit einem Ring aus weichem Eisen.**

Der hier verwendete Ring wurde in der Maschinenfabrik Wegelin & Hübner, A.-G. Halle, aus Flusseisen von der Gewerkschaft Deutscher Kaiser, Hamborn, hergestellt. Er ist sorgfältigst abgedreht und, wie es ja für derartige Untersuchungen erforderlich ist, aus einem Stück gearbeitet, um durchs Schweissen bedingte inhomogene Stellen zu vermeiden. Der möglichst weiche Zustand des Materials wurde durch Anlassen bis zur Rotglut und nachheriges langsames Erkalten in Holzkohlenstaub zu erreichen gesucht. Die Dimensionen des Ringes wurden durch Wägen und durch Ausmessen mittels der Teilmaschine und des Dickenmessers bestimmt. Die durch das Messen erhaltenen Masse wurden auf ein in der Normalaichungskommission geprüftes Normalmeter reduziert. Die Daten für diesen Ring sind:

der Querschnitt $q_1 = 0{,}2919$ qcm (durch Wägung gefunden)
„ „ $q_2 = 0{,}2927$ „ (geometrisch)
„ Mittelwert $q = 0{,}2923$ „

der Achsendurchmesser . . . . . = 10,023 cm
der Durchmesser des Ringquerschnittes = 0,610 „
das spez. Gewicht . . . . . = 7,859 „

Nach Feststellung der Daten wurde der Ring mit einem dünnen Schellacküberzug versehen und darauf möglichst gleichförmig bewickelt. Es besteht die Primärspule aus 347 Windungen 1 mm starken Drahtes in 2 Lagen und die Sekundärspule aus 500 Windungen 0,5 mm dicken Drahtes in 1 Lage. Die Primärwickelung befindet sich auf der sekundären.

Da diese somit dicht auf dem Eisenring liegt, so ist die durch das Interferrikum bedingte Korrektion bei $\mathfrak{B}$ so gering, dass sie vernachlässigt werden kann. Daher ist hier:

$$\mathfrak{B} = \frac{e}{q \cdot \beta \cdot \mathfrak{R}} \cdot \Sigma \alpha.$$

$\mathfrak{H}$ ist gegeben durch:

$$\mathfrak{H} = \frac{0{,}2\ N}{r} \cdot i_{\text{Ampere}}.$$

Die Mitteilung aller Beobachtungsdaten würde zu weit führen und auch die Übersicht erschweren. Ich gebe daher nur die mittels obiger Formeln gefundenen Ergebnisse für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ für die einzelnen Serien in Tabellenform wieder. Für jede Serie habe ich mindestens eine $\mathfrak{H}$-$\mathfrak{B}$ Kurve gezeichnet, auf die in der zugehörigen Tabelle hingewiesen ist. Enthält die betreffende Zeichnung nur eine solche Kurve, so soll damit gesagt sein, dass die etwaigen Unterschiede bei verschiedener Stufenzahl nur gerind sind und daher in der Figur nicht deutlich zum Ausdruck kommen würden.

In der Schilderung der Versuchsausführung glaube ich mich auf die Erläuterung der zugehörigen Skizzen beschränken zu dürfen, da das Wesentlichste ja schon gelegentlich der Beschreibung der Apparate erörtert wurde. Besondere Einzelheiten in der Ausführung werde ich an den betreffenden Stellen erwähnen.

**Serie**

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 7 ersichtlich. Hier ist: A
Stunden Kapazität), B ein technischer Widerstand, C D der Manga
messer — das Pyrometer im Nebenschluss auf 0,001 A➤
J der Ring, K die Rolle des Magnetinduktors, z der Kurbelrhec
y der Stöpselrheostat von H. & B.
Die Ergebnisse für H un

Tab. 1 (Anfang). H und B.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H | B | H | B | H | B | H |
| — 1,312 | — 2431 | — 1,311 | — 2929 | — 1,313 | — 3146 | — 1,309 |
| — 1,270 | — 2411 | | | | | |
| — 1,221 | — 2388 | — 1,220 | — 2884 | | | |
| — 1,176 | — 2364 | | | — 1,176 | — 3072 | |
| — 1,127 | — 2337 | — 1,129 | — 2827 | | | — 1,123 |
| — 1,080 | — 2308 | | | | | |
| — 1,032 | — 2278 | — 1,029 | — 2762 | — 1,029 | — 2974 | |
| — 0,983 | — 2247 | | | | | |
| — 0,933 | — 2213 | — 0,932 | — 2690 | | | — 0,931 |
| — 0,884 | — 2178 | | | — 0,884 | — 2858 | |
| — 0,831 | — 2142 | — 0,831 | — 2609 | | | |
| — 0,778 | — 2103 | | | | | |
| — 0,723 | — 2063 | — 0,722 | — 2519 | — 0,723 | — 2722 | — 0,722 |
| — 0,666 | — 2020 | | | | | |
| — 0,609 | — 1975 | — 0,609 | — 2420 | | | |
| — 0,554 | — 1929 | | | — 0,554 | — 2563 | |
| — 0,499 | — 1879 | — 0,499 | — 2309 | | | — 0,497 |
| — 0,442 | — 1826 | | | | | |
| — 0,381 | — 1769 | — 0,379 | — 2184 | — 0,379 | — 2374 | |
| — 0,320 | — 1711 | | | | | |
| — 0,258 | — 1648 | — 0,256 | — 2043 | | | — 0,258 |
| — 0,195 | — 1580 | | | — 0,195 | — 2146 | |
| — 0,134 | — 1507 | — 0,132 | — 1880 | | | |
| — 0,068 | — 1428 | | | | | |
| — 0,000 | — 1341 | — 0,000 | — 1691 | — 0,000 | — 1863 | — 0,000 |
| | | | | Kommutation | | |
| + 0,068 | — 1252 | | | | | |
| + 0,134 | — 1158 | + 0,132 | — 1478 | | | |

max **ca. 1,3.**

nquelle (grosse Akkumulatoren des Instituts von 90 Amperet zur Abzweigung, C, E die Abzweigungspunkte, F der Stromteil geschaltet —, G der Bügelrheostat, H ein Kommutator, Kommutator, $x_1$ und $x_2$ Nebenschlüsse für das Galvanometer, as Galvanometer von Edelmann.
in Tab. 1 enthalten.

Serie 1. Fig. 14.

| tufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 |
| ,313 | — 3324 | — 1,316 | — 3404 | — 1,314 | — 3405 | — 1,313 | — 3397 |
| ,034 | — 3139 | | | | | | |
| | | — 0,936 | — 3132 | | | | |
| ,724 | — 2872 | | | — 0,726 | — 2946 | | |
| | | — 0,500 | — 2703 | | | | |
| ,384 | — 2504 | | | | | | |
| ,000 | — 1963 | — 0,000 | — 2007 | — 0,000 | — 2022 | — 0,000 | — 1980 |
| | | Stromrichtung | | | | | |

Tab. 1 (Forts.). H und B.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | B | H | B | H | B | H | |
| + 0,195 | — 1059 | | | + 0,195 | — 1522 | | |
| + 0,258 | — 955 | + 0,255 | — 1241 | | | + 0,256 | — |
| + 0,320 | — 844 | | | | | | |
| + 0,379 | — 727 | + 0,378 | — 975 | + 0,378 | — 1109 | | |
| + 0,440 | — 603 | | | | | | |
| + 0,497 | — 469 | + 0,497 | — 669 | | | + 0,496 | — |
| + 0,554 | — 323 | | | + 0,553 | — 596 | | |
| + 0,609 | — 164 | + 0,608 | — 309 | | | | |
| + 0,664 | + 15 | | | | | | |
| + 0,722 | + 213 | + 0,720 | + 150 | + 0,722 | + 84 | + 0,719 | + |
| + 0,776 | + 431 | | | | | | |
| + 0,830 | + 676 | + 0,830 | + 707 | | | | |
| + 0,880 | + 923 | | | + 0,878 | + 972 | | |
| + 0,931 | + 1164 | + 0,929 | + 1288 | | | + 0,929 | + |
| + 0,980 | + 1390 | | | | | | |
| + 1,029 | + 1592 | + 1,028 | + 1812 | + 1,028 | + 1856 | | |
| + 1,077 | + 1770 | | | | | | |
| + 1,126 | + 1927 | + 1,124 | + 2250 | | | + 1,120 | + |
| + 1,174 | + 2070 | | | + 1,174 | + 2569 | | |
| + 1,223 | + 2195 | + 1,219 | + 2612 | | | | |
| + 1,267 | + 2315 | | | | | | |
| + 1,313 | + 2426 | + 1,311 | + 2935 | + 1,311 | + 3135 | + 1,306 | + |
| + 1,267 | + 2406 | | | | | | |
| + 1,221 | + 2385 | + 1,220 | + 2891 | | | | |
| + 1,176 | + 2360 | | | + 1,176 | + 3061 | | |
| + 1,129 | + 2334 | + 1,127 | + 2834 | | | + 1,123 | + |
| + 1,080 | + 2307 | | | | | | |
| + 1,032 | + 2278 | + 1,029 | + 2774 | + 1,032 | + 2964 | | |
| + 0,982 | + 2247 | | | | | | |
| + 0,933 | + 2215 | + 0,933 | + 2703 | | | + 0,929 | + |
| + 0,884 | + 2181 | | | + 0,881 | + 2851 | | |
| + 0,832 | + 2146 | + 0,831 | + 2624 | | | | |
| + 0,777 | + 2109 | | | | | | |
| + 0,722 | + 2070 | + 0,722 | + 2540 | + 0,722 | + 2717 | + 0,722 | + |
| + 0,666 | + 2028 | | | | | | |
| + 0,609 | + 1985 | + 0,609 | + 2442 | | | | |
| + 0,554 | + 1939 | | | + 0,554 | + 2559 | | |

Serie 1. Fig. 14.

| Stufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 |
| ,382 | — 1176 | | | | | | |
| | | + 0,499 | — 846 | | | | |
| 723 | + 58 | | | + 0,724 | + 33 | | |
| | | + 0,933 | + 1396 | | | | |
| ,036 | + 1956 | | | | | | |
| ,313 | + 3321 | + 1,316 | + 3403 | + 1,316 | + 3398 | + 1,313 | + 3392 |
| ,034 | + 3132 | | | | | | |
| | | + 0,938 | + 3128 | | | | |
| ,724 | + 2856 | | | + 0,726 | + 2920 | | |

Tab. 1 (Schluss). ℌ und 𝔅.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | |
| + 0,499 | + 1891 | + 0,499 | + 2332 | | | + 0,496 | + |
| + 0,442 | + 1841 | | | | | | |
| + 0,381 | + 1788 | + 0,379 | + 2209 | + 0,378 | + 2369 | | |
| + 0,320 | + 1730 | | | | | | |
| + 0,259 | + 1668 | + 0,258 | + 2069 | | | + 0,258 | + |
| + 0,197 | + 1602 | | | + 0,195 | + 2142 | | |
| + 0,134 | + 1534 | + 0,133 | + 1909 | | | | |
| + 0,068 | + 1457 | | | | | | |
| + 0,000 | + 1375 | + 0,000 | + 1725 | + 0,000 | + 1859 | + 0,000 | + |
| | | | | Kommutation | | | |
| — 0,068 | + 1288 | | | | | | |
| — 0,133 | + 1199 | — 0,132 | + 1514 | | | | |
| — 0,195 | + 1103 | | | — 0,195 | + 1523 | | |
| — 0,256 | + 1002 | — 0,256 | + 1282 | | | — 0,256 | + |
| — 0,319 | + 896 | | | | | | |
| — 0,378 | + 787 | — 0,378 | + 1021 | — 0,378 | + 1110 | | |
| — 0,439 | + 670 | | | | | | |
| — 0,497 | + 542 | — 0,497 | + 719 | | | — 0,496 | + |
| — 0,554 | + 404 | | | — 0,553 | + 592 | | |
| — 0,609 | + 254 | — 0,608 | + 363 | | | | |
| — 0,665 | + 89 | | | | | | |
| — 0,720 | — 95 | — 0,720 | — 83 | — 0,720 | — 97 | — 0,719 | + |
| — 0,774 | — 295 | | | | | | |
| — 0,827 | — 518 | — 0,828 | — 633 | | | | |
| — 0,877 | — 757 | | | — 0,878 | — 1012 | | |
| — 0,929 | — 1000 | — 0,929 | — 1226 | | | — 0,928 | — |
| — 0,979 | — 1236 | | | | | | |
| — 1,028 | — 1454 | — 1,026 | — 1767 | — 1,026 | — 1899 | | |
| — 1,076 | — 1656 | | | | | | |
| — 1,123 | — 1841 | — 1,123 | — 2224 | | | — 1,120 | — |
| — 1,172 | — 2007 | | | — 1,172 | — 2587 | | |
| — 1,219 | — 2157 | — 1,219 | — 2606 | | | | |
| — 1,264 | — 2296 | | | | | | |
| — 1,312 | — 2422 | — 1,310 | — 2941 | — 1,309 | — 3124 | — 1,306 | — |

Serie 1. Fig. 14.

| Stufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | V | H | V | H | V | H | V |
| | | + 0,500 | + 2684 | | | | |
| 382 | + 2478 | | | | | | |
| 000 | + 1928 | + 0,000 | + 1986 | + 0,000 | + 1965 | + 0,000 | + 2021 |
| | | Stromrichtung | | | | | |
| 379 | + 1122 | | | | | | |
| | | — 0,499 | + 812 | | | | |
| 722 | — 152 | | | — 0,723 | — 190 | | |
| | | — 0,935 | — 1469 | | | | |
| 030 | — 2031 | | | | | | |
| 315 | — 3318 | — 1,316 | — 3402 | — 1,314 | — 3391 | — 1,313 | — 3387 |

**Serie**

Für diese Versuche wurde die bei Serie 1 benützte Versuchsan
Batterie, F das Pyrometer im Nebenschluss auf 0,01 »A»
J

Die für 𝔥 und 𝔅 ermitt

Tab. 2 (Anfang). 𝔥 und 𝔅.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 𝔥 | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 |
| —10,93 | — 13493 | —10,91 | — 13649 | — 10,91 | — 13774 | —10,91 | — 1 |
| —10,54 | — 13456 | | | | | | |
| —10,15 | — 13414 | —10,14 | — 13567 | | | | |
| — 9,791 | — 13368 | | | — 9,791 | — 13646 | | |
| — 9,403 | — 13318 | — 9,375 | — 13469 | | | — 9,389 | — 1 |
| — 9,001 | — 13264 | | | | | | |
| — 8,600 | — 13206 | — 8,572 | — 13352 | — 8,600 | — 13479 | | |
| — 8,198 | — 13141 | | | | | | |
| — 7,783 | — 13069 | — 7,755 | — 13210 | | | — 7,755 | — 1 |
| — 7,367 | — 12989 | | | — 7,354 | — 13255 | | |
| — 6,924 | — 12899 | — 6,883 | — 13034 | | | | |
| — 6,495 | — 12798 | | | | | | |
| — 6,038 | — 12683 | — 5,982 | — 12808 | — 6,038 | — 12935 | — 5,982 | — |
| — 5,567 | — 12548 | | | | | | |
| — 5,124 | — 12394 | — 5,082 | — 12508 | | | | |
| — 4,653 | — 12215 | | | — 4,653 | — 12444 | | |
| — 4,168 | — 12004 | — 4,141 | — 12096 | | | — 4,155 | — |
| — 3,698 | — 11755 | | | | | | |
| — 3,185 | — 11458 | — 3,157 | — 11524 | — 3,185 | — 11642 | | |
| — 2,659 | — 11103 | | | | | | |
| — 2,174 | — 10671 | — 2,147 | — 10716 | | | — 2,160 | — |
| — 1,663 | — 10150 | | | — 1,648 | — 10286 | | |
| — 1,108 | — 9513 | — 1,108 | — 9548 | | | | |
| — 0,554 | — 8721 | | | | | | |
| — 0,000 | — 7699 | — 0,000 | — 7736 | — 0,000 | — 7766 | — 0,000 | — |
| | | | | Kommu | tation | | |
| + 0,554 | — 6270 | | | | | | |
| + 1,108 | — 2849 | + 1,108 | — 3342 | | | | |
| + 1,648 | + 3683 | | | + 1,648 | + 3696 | | |
| + 2,174 | + 6276 | + 2,147 | + 6007 | | | + 2,147 | + |

ax **ca. 11,0.**

im Primärkreise etwas abgeändert (Fig. 8). Es ist hier: A die
nteil geschaltet, G der Bügelrheostat, H der Kommutator und

e gibt Tabelle 2 wieder.

Serie 2. Fig. 15.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | H | B | H | B | H | B |
| 93 | — 13808 | —10,94 | — 13810 | —10,94 | — 13776 | —10,93 | — 13784 |
| 586 | — 13501 | | | | | | |
| | | — 7,755 | — 13357 | | | | |
| 996 | — 12938 | | | — 5,996 | — 12909 | | |
| | | — 4,155 | — 12206 | | | | |
| 157 | — 11627 | | | | | | |
| 000 | — 7874 | — 0,000 | — 7868 | — 0,000 | — 7818 | — 0,000 | — 7858 |
| | | Stromrichtung | | | | | |

Tab. 2 (Forts.). H und B.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | B | H | B | H | B | H | |
| + 2,659 | + 7713 | | | | | | |
| + 3,185 | + 8687 | + 3,157 | + 8521 | + 3,185 | + 8715 | | |
| + 3,698 | + 9427 | | | | | | |
| + 4,168 | + 10005 | + 4,141 | + 9892 | | | + 4,155 | + |
| + 4,667 | + 10487 | | | + 4,653 | + 10578 | | |
| + 5,124 | + 10896 | + 5,082 | + 10826 | | | | |
| + 5,567 | + 11242 | | | | | | |
| + 6,038 | + 11548 | + 5,982 | + 11522 | + 6,038 | + 11696 | + 5,982 | + |
| + 6,495 | + 11817 | | | | | | |
| + 6,924 | + 12057 | + 6,883 | + 12063 | | | | |
| + 7,354 | + 12270 | | | + 7,354 | + 12464 | | |
| + 7,783 | + 12462 | + 7,741 | + 12502 | | | + 7,755 | + |
| + 8,184 | + 12638 | | | | | | |
| + 8,600 | + 12795 | + 8,572 | + 12858 | + 8,600 | + 13025 | | |
| + 9,001 | + 12941 | | | | | | |
| + 9,417 | + 13074 | + 9,375 | + 13157 | | | + 9,389 | + |
| + 9,791 | + 13197 | | | + 9,777 | + 13455 | | |
| +10,15 | + 13310 | +10,14 | + 13410 | | | | |
| +10,54 | + 13414 | | | | | | |
| +10,93 | + 13512 | +10,91 | + 13626 | +10,93 | + 13794 | +10,91 | + |
| +10,54 | + 13475 | | | | | | |
| +10,15 | + 13434 | +10,14 | + 13545 | | | | |
| + 9,791 | + 13388 | | | + 9,791 | + 13667 | | |
| + 9,403 | + 13339 | + 9,375 | + 13446 | | | + 9,389 | + |
| + 9,022 | + 13285 | | | | | | |
| + 8,600 | + 13227 | + 8,572 | + 13329 | + 8,600 | + 13500 | | |
| + 8,198 | + 13163 | | | | | | |
| + 7,783 | + 13092 | + 7,741 | + 13189 | | | + 7,755 | + |
| + 7,367 | + 13013 | | | + 7,354 | + 13279 | | |
| + 6,924 | + 12925 | + 6,883 | + 13013 | | | | |
| + 6,495 | + 12825 | | | | | | |
| + 6,052 | + 12709 | + 5,982 | + 12787 | + 6,038 | + 12964 | + 5,982 | + |
| + 5,567 | + 12577 | | | | | | |
| + 5,124 | + 12426 | + 5,096 | + 12488 | | | | |
| + 4,667 | + 12248 | | | + 4,642 | + 12478 | | |
| + 4,182 | + 12038 | + 4,141 | + 12078 | | | + 4,155 | + |
| + 3,711 | + 11791 | | | | | | |

Serie 2. Fig. 15.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 | 𝔊 | 𝔅 |
| 157 | + 8613 | | | | | | |
| | | + 4,155 | + 9980 | | | | |
| 982 | + 11659 | | | + 5,982 | + 11632 | | |
| | | + 7,755 | + 12653 | | | | |
| 586 | + 13033 | | | | | | |
| 93 | + 13833 | + 10,93 | + 13826 | + 10,94 | + 13768 | + 10,93 | + 13791 |
| 586 | + 13524 | | | | | | |
| | | + 7,775 | + 13371 | | | | |
| 982 | + 12960 | | | + 5,996 | + 12901 | | |
| | | + 4,155 | + 12220 | | | | |

Tab. 2 (Schluss). ℌ und 𝔅.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | |
| + 3,185 | + 11496 | + 3,157 | + 11512 | + 3,185 | + 11687 | | |
| + 2,659 | + 11146 | | | | | | |
| + 2,169 | + 10721 | + 2,160 | + 10707 | | | + 2,160 | + |
| + 1,662 | + 10201 | | | + 1,648 | + 10343 | | |
| + 1,108 | + 9568 | + 1,108 | + 9541 | | | | |
| + 0,554 | + 8779 | | | | | | |
| + 0,000 | + 7757 | + 0,000 | + 7733 | + 0,000 | + 7833 | + 0,000 | + |
| | | | | Kommu | tation | | |
| — 0,554 | + 6333 | | | | | | |
| — 1,108 | + 2951 | — 1,108 | + 3355 | | | | |
| — 1,648 | — 3597 | | | — 1,648 | — 3609 | | |
| — 2,174 | — 6210 | — 2,147 | — 5992 | | | — 2,147 | — |
| — 2,659 | — 7666 | | | | | | |
| — 3,185 | — 8652 | — 3,157 | — 8520 | — 3,185 | — 8694 | | |
| — 3,698 | — 9394 | | | | | | |
| — 4,168 | — 9984 | — 4,154 | — 9896 | | | — 4,155 | — |
| — 4,667 | — 10475 | | | — 4,653 | — 10575 | | |
| — 5,124 | — 10892 | — 5,096 | — 10821 | | | | |
| — 5,567 | — 11243 | | | | | | |
| — 6,038 | — 11549 | — 5,996 | — 11517 | — 6,038 | — 11703 | — 5,982 | — |
| — 6,495 | — 11822 | | | | | | |
| — 6,924 | — 12065 | — 6,896 | — 12045 | | | | |
| — 7,354 | — 12280 | | | — 7,353 | — 12480 | | |
| — 7,783 | — 12476 | — 7,755 | — 12504 | | | — 7,755 | — |
| — 8,184 | — 12652 | | | | | | |
| — 8,600 | — 12813 | — 8,586 | — 12841 | — 8,600 | — 13045 | | |
| — 9,001 | — 12959 | | | | | | |
| — 9,403 | — 13092 | — 9,403 | — 13138 | | | — 9,389 | — |
| — 9,791 | — 13215 | | | — 9,777 | — 13474 | | |
| —10,17 | — 13328 | —10,15 | — 13390 | | | | |
| —10,54 | — 13431 | | | | | | |
| —10,93 | — 13530 | —10,94 | — 13604 | —10,91 | — 13816 | —10,91 | — |

Serie 2. Fig. 15.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | H | B | H | B | H | B |
| 57 | + 11649 | | | | | | |
| 00 | + 7799 | + 0,000 Stromrichtung | + 7850 | + 0,000 | + 7842 | + 0,000 | + 7848 |
| 157 | — 8688 | | | | | | |
| | | — 4,155 | — 9997 | | | | |
| 982 | — 11687 | | | — 5,982 | — 11607 | | |
| | | — 7,755 | — 12670 | | | | |
| 586 | — 13059 | | | | | | |
| 93 | — 13857 | —10,94 | — 13841 | —10,93 | — 13760 | —10,93 | — 13797 |

Die Versuchsanordnung ist ebenso wie bei Serie 2 (Fig. 8);
Präzisionsamperemeter von Sieme
Die sich ergebenden Werte für $\mathfrak{H}$

Tab. 3 (Anfang). $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | |
| — 53,87 | — 17214 | — 53,94 | — 17252 | — 53,87 | — 17235 | — 53,94 | — |
| — 52,02 | — 17169 | | | | | | |
| — 50,20 | — 17123 | — 50,20 | — 17161 | | | | |
| — 48,40 | — 17073 | | | — 48,40 | — 17092 | | |
| — 46,46 | — 17022 | — 46,46 | — 17060 | | | — 46,46 | — |
| — 44,38 | — 16967 | | | | | | |
| — 42,58 | — 16910 | — 42,58 | — 16950 | — 42,58 | — 16928 | | |
| — 40,51 | — 16850 | | | | | | |
| — 38,57 | — 16786 | — 38,57 | — 16826 | | | — 38,57 | — |
| — 36,42 | — 16719 | | | — 36,42 | — 16735 | | |
| — 34,41 | — 16646 | — 34,41 | — 16685 | | | | |
| — 32,20 | — 16567 | | | | | | |
| — 29,98 | — 16482 | — 29,98 | — 16520 | — 29,98 | — 16495 | — 29,98 | — |
| — 27,70 | — 16388 | | | | | | |
| — 25,48 | — 16284 | — 25,48 | — 16322 | | | | |
| — 23,20 | — 16167 | | | — 23,20 | — 16178 | | |
| — 20,70 | — 16032 | — 20,70 | — 16067 | | | — 20,70 | — |
| — 18,35 | — 15873 | | | | | | |
| — 15,93 | — 15678 | — 15,93 | — 15711 | — 15,93 | — 15672 | | |
| — 13,50 | — 15428 | | | | | | |
| — 10,87 | — 15085 | — 10,94 | — 15096 | | | — 10,94 | — |
| — 8,240 | — 14558 | | | — 8,240 | — 14524 | | |
| — 5,539 | — 13659 | — 5,539 | — 13652 | | | | |
| — 2,770 | — 11914 | | | | | | |
| — 0,000 | — 8031 | — 0,000 | — 8073 | — 0,000 | — 8073 | — 0,000 | — |
| | | | | Kommutation | | | |
| + 2,770 | + 7824 | | | | | | |
| + 5,539 | + 11303 | + 5,539 | + 11257 | | | | |
| + 8,240 | + 12898 | | | + 8,240 | + 12788 | | |
| + 10,94 | + 13875 | + 10,94 | + 13849 | | | + 10,94 | + |
| + 13,50 | + 14530 | | | | | | |

max **ca. 54,0.**

statt des Pyrometers im Nebenschluss zur Strommessung das
ke in den Primärkreis eingeschaltet.
hd in der Tab. 3 zusammengestellt.

Serie 3. Fig. 16.

| tufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 | 𝔥 | 𝔅 |
| ,94 | — 17138 | — 53,94 | — 17258 | — 53,87 | — 17171 | — 53,94 | — 17168 |
| ,58 | — 16825 | | | | | | |
| | | — 38,57 | — 16817 | | | | |
| ,98 | — 16381 | | | — 29,98 | — 16417 | | |
| | | — 20,70 | — 16034 | | | | |
| ,93 | — 15544 | | | | | | |
| ,000 | — 8009 | — 0,000 | — 8091 | — 0,000 | — 8034 | — 0,000 | — 8051 |
| | | Stromrichtung | | | | | |

Tab. 3 (Forts.). ℌ und 𝔅.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | |
| + 15,93 | + 14997 | + 15,93 | + 14980 | + 15,93 | + 14911 | | |
| + 18,35 | + 15338 | | | | | | |
| + 20,70 | + 15607 | + 20,70 | + 15610 | | | + 20,70 | + |
| + 23,20 | + 15824 | | | + 23,20 | + 15768 | | |
| + 25,48 | + 16005 | + 25,48 | + 16021 | | | | |
| + 27,70 | + 16160 | | | | | | |
| + 29,98 | + 16295 | + 29,98 | + 16313 | + 29,98 | + 16256 | + 29,98 | + |
| + 32,20 | + 16415 | | | | | | |
| + 34,41 | + 16522 | + 34,41 | + 16542 | | | | |
| + 36,42 | + 16619 | | | + 36,42 | + 16585 | | |
| + 38,57 | + 16709 | + 38,57 | + 16730 | | | + 38,57 | + |
| + 40,51 | + 16792 | | | | | | |
| + 42,58 | + 16868 | + 42,58 | + 16891 | + 42,58 | + 16837 | | |
| + 44,38 | + 16940 | | | | | | |
| + 46,46 | + 17007 | + 46,46 | + 17030 | | | + 46,46 | + |
| + 48,40 | + 17071 | | | + 48,40 | + 17042 | | |
| + 50,20 | + 17131 | + 50,20 | + 17155 | | | | |
| + 52,07 | + 17188 | | | | | | |
| + 53,87 | + 17242 | + 53,87 | + 17267 | + 53,87 | + 17215 | + 53,94 | + |
| + 52,14 | + 17197 | | | | | | |
| + 50,20 | + 17150 | + 50,20 | + 17176 | | | | |
| + 48,40 | + 17102 | | | + 48,40 | + 17074 | | |
| + 46,46 | + 17050 | + 46,46 | + 17075 | | | + 46,46 | + |
| + 44,38 | + 16997 | | | | | | |
| + 42,58 | + 16940 | + 42,58 | + 16964 | + 42,58 | + 16912 | | |
| + 40,51 | + 16880 | | | | | | |
| + 38,57 | + 16816 | + 38,57 | + 16840 | | | + 38,57 | + |
| + 36,42 | + 16749 | | | + 36,42 | + 16719 | | |
| + 34,41 | + 16676 | + 34,41 | + 16699 | | | | |
| + 32,20 | + 16597 | | | | | | |
| + 29,98 | + 16512 | + 29,98 | + 16534 | + 29,98 | + 16480 | + 29,98 | + |
| + 27,70 | + 16418 | | | | | | |
| + 25,48 | + 16314 | + 25,48 | + 16335 | | | | |
| + 23,20 | + 16197 | | | + 23,20 | + 16162 | | |
| + 20,70 | + 16061 | + 20,70 | + 16081 | | | + 20,70 | + |
| + 18,35 | + 15902 | | | | | | |
| + 15,93 | + 15707 | + 15,93 | + 15723 | + 15,93 | + 15656 | | |

Serie 3. Fig. 16.

| Stufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | H | B | H | B | H | B |
| 93 | + 14839 | | | | | | |
| | | + 20,70 | + 15531 | | | | |
| ,98 | + 16187 | | | + 29,98 | + 16240 | | |
| | | + 38,57 | + 16679 | | | | |
| ,58 | + 16782 | | | | | | |
| ,94 | + 17170 | + 53,94 | + 17233 | + 53,94 | + 17222 | + 53,94 | + 17168 |
| ,58 | + 16853 | | | | | | |
| | | + 38,57 | + 16794 | | | | |
| ,98 | + 16409 | | | + 29,98 | + 16468 | | |
| | | + 20,70 | + 16012 | | | | |
| ,93 | + 15587 | | | | | | |

Tab. 3 (Schluss). Ⅎ und Ⅴ.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ⅎ | Ⅴ | Ⅎ | Ⅴ | Ⅎ | Ⅴ | Ⅎ | |
| + 13,50 | + 15457 | | | | | | |
| + 10,94 | + 15115 | + 10,94 | + 15113 | | | + 10,94 | + |
| + 8,240 | + 14588 | | | + 8,240 | + 14510 | | |
| + 5,539 | + 13687 | + 5,539 | + 13673 | | | | |
| + 2,770 | + 11938 | | | | | | |
| + 0,000 | + 8049 | + 0,000 | + 8062 | + 0,000 | + 8058 | + 0,000 | + |
| | | | | Kommutation | | | |
| — 2,770 | — 7855 | | | | | | |
| — 5,539 | — 11336 | — 5,539 | — 11268 | | | | |
| — 8,240 | — 12931 | | | — 8,240 | — 12771 | | |
| — 10,94 | — 13906 | — 10,94 | — 13858 | | | — 10,87 | — |
| — 13,50 | — 14562 | | | | | | |
| — 15,93 | — 15029 | — 15,93 | — 14989 | — 15,93 | — 14896 | | |
| — 18,35 | — 15372 | | | | | | |
| — 20,70 | — 15639 | — 20,70 | — 15618 | | | — 20,70 | — |
| — 23,20 | — 15866 | | | — 23,20 | — 15752 | | |
| — 25,48 | — 16037 | — 25,48 | — 16027 | | | | |
| — 27,70 | — 16191 | | | | | | |
| — 29,98 | — 16326 | — 29,98 | — 16319 | — 29,98 | — 16239 | — 29,98 | — |
| — 32,20 | — 16446 | | | | | | |
| — 34,41 | — 16553 | — 34,41 | — 16548 | | | | |
| — 36,42 | — 16651 | | | — 36,42 | — 16568 | | |
| — 38,57 | — 16739 | — 38,57 | — 16736 | | | — 38,57 | — |
| — 40,51 | — 16821 | | | | | | |
| — 42,58 | — 16899 | — 42,58 | — 16895 | — 42,58 | — 16819 | | |
| — 44,38 | — 16969 | | | | | | |
| — 46,46 | — 17037 | — 46,46 | — 17036 | | | — 46,46 | — |
| — 48,40 | — 17100 | | | — 48,40 | — 17023 | | |
| — 50,20 | — 17160 | — 50,20 | — 17160 | | | | |
| — 52,14 | — 17216 | | | | | | |
| — 53,87 | — 17271 | — 53,87 | — 17272 | — 53,87 | — 17197 | — 53,94 | — |

Serie 3. Fig. 16.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ |
| ·00 | + 7977 | + 0,000 Stromrichtung | + 8067 | + 0,000 | — 8085 | + 0,000 | + 8051 |
| ,93 | — 14862 | | | | | | |
| | | — 20,70 | — 15507 | | | | |
| ,98 | — 16219 | | | — 29,98 | — 16221 | | |
| | | — 38,57 | — 16654 | | | | |
| ,58 | — 16813 | | | | | | |
| ,94 | — 17201 | — 53,94 | — 17209 | — 53,87 | — 17203 | — 53,94 | — 17168 |

Serie

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie bei Serie 3 (Fig. 9). hebliche Erwärmung der Primärspule und der Rollen des B Das Glasgefäss, in dem der Ring in Petroleum hing, wurde i mischte ich das Petroleum untereinander und erhielt so eine rheostaten dadurch, dass ich ihn in einer Holzwanne mit Eis rührers R in

Tab. 4 enthält di

Tab. 4 (Anfang). H und B.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | B | H | B | H | B | H | |
| —126,9 | — 18933 | —126,6 | — 18840 | —125,9 | — 18827 | —125,9 | — |
| —123,0 | — 18867 | | | | | | |
| —118,3 | — 18800 | —118,1 | — 18708 | | | | |
| —114,1 | — 18731 | | | —112,8 | — 18626 | | |
| —109,5 | — 18657 | —109,2 | — 18564 | | | —108,4 | — |
| —105,0 | — 18581 | | | | | | |
| —100,3 | — 18502 | — 99,99 | — 18409 | — 99,43 | — 18397 | | |
| — 95,62 | — 18418 | | | | | | |
| — 90,64 | — 18330 | — 90,43 | — 18237 | | | — 89,95 | — |
| — 85,93 | — 18239 | | | — 85,03 | — 18135 | | |
| — 80,87 | — 18142 | — 80,67 | — 18048 | | | | |
| — 76,03 | — 18038 | | | | | | |
| — 70,70 | — 17929 | — 70,49 | — 17836 | — 69,94 | — 17826 | — 69,80 | — |
| — 65,43 | — 17813 | | | | | | |
| — 59,90 | — 17688 | — 59,69 | — 17593 | | | | |
| — 54,56 | — 17553 | | | — 54,01 | — 17447 | | |
| — 48,32 | — 17405 | — 48,68 | — 17308 | | | — 48,40 | — |
| — 43,28 | — 17239 | | | | | | |
| — 37,39 | — 17056 | — 37,32 | — 16954 | — 37,11 | — 16930 | | |
| — 31,78 | — 16838 | | | | | | |
| — 25,62 | — 16569 | — 25,55 | — 16451 | | | — 25,27 | — |
| — 19,39 | — 16208 | | | — 19,32 | — 16059 | | |
| — 13,16 | — 15616 | — 13,02 | — 15490 | | | | |
| — 6,786 | — 14244 | | | | | | |
| — 0,000 | — 8154 | — 0,000 | — 8115 | — 0,000 | — 8129 | — 0,000 | — |
| | | | | Kommutation | | | |

$_{max}$ **ca. 127,0.**

verwendete stärkere Strom (bis zu 9,2 A) bewirkte eine er-
taten. Diesem Übelstande wurde durch Eiskühlung abgeholfen.
s Gefäss gesetzt und mit Eis umgeben. Durch ein Gebläse
onstante Temperatur. Dasselbe erreichte ich bei dem Bügel-
und das in ihm befindliche Petroleum mittels des Turbinen-
on versetzte.
isse für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

Serie 4. Fig. 17.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ |
| ,5 | — 18853 | —126,6 | — 18877 | —126,6 | — 18922 | —126,6 | — 18757 |
| ,78 | — 18411 | | | | | | |
| | | — 90,29 | — 18258 | | | | |
| ,35 | — 17823 | | | — 70,28 | — 17889 | | |
| | | — 48,54 | — 17304 | | | | |
| ,18 | — 16921 | | | | | | |
| 0,000 | — 8098 | — 0,000 | — 8144 | — 0,000 | — 8197 | — 0,000 | — 8115 |
| | | Stromrichtung | | | | | |

Tab. 4 (Forts.). H und B.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H | B | H | B | H | B | H | |
| + 6,786 | + 12049 | | | | | | |
| + 13,16 | + 14515 | + 13,02 | + 14414 | | | | |
| + 19,29 | + 15556 | | | + 19,32 | + 15403 | | |
| + 25,69 | + 16140 | + 25,55 | + 16044 | | | + 25,34 | + |
| + 31,78 | + 16532 | | | | | | |
| + 37,46 | + 16817 | + 37,32 | + 16734 | + 37,25 | + 16679 | | |
| + 43,28 | + 17053 | | | | | | |
| + 48,95 | + 17252 | + 48,68 | + 17179 | | | + 48,47 | + |
| + 54,49 | + 17424 | | | + 54,01 | + 17299 | | |
| + 60,03 | + 17580 | + 59,82 | + 17508 | | | | |
| + 65,43 | + 17720 | | | | | | |
| + 70,70 | + 17848 | + 70,56 | + 17779 | + 70,14 | + 17736 | + 70,07 | + |
| + 76,10 | + 17968 | | | | | | |
| + 80,94 | + 18080 | + 80,67 | + 18010 | | | | |
| + 85,93 | + 18184 | | | + 85,17 | + 18072 | | |
| + 90,64 | + 18283 | + 90,50 | + 18215 | | | + 90,02 | + |
| + 95,76 | + 18377 | | | | | | |
| +100,4 | + 18465 | +100,1 | + 18398 | + 99,64 | + 18354 | | |
| +105,2 | + 18549 | | | | | | |
| +109,5 | + 18630 | +109,3 | + 18563 | | | +108,5 | + |
| +114,2 | + 18707 | | | +113,1 | + 18596 | | |
| +118,6 | + 18781 | +118,1 | + 18715 | | | | |
| +122,9 | + 18851 | | | | | | |
| +126,9 | + 18919 | +126,6 | + 18855 | +125,9 | + 18810 | +125,7 | + |
| +122,8 | + 18855 | | | | | | |
| +118,5 | + 18787 | +117,7 | + 18723 | | | | |
| +113,9 | + 18717 | | | +112,9 | + 18607 | | |
| +109,5 | + 18644 | +109,1 | + 18579 | | | +108,3 | + |
| +105,0 | + 18568 | | | | | | |
| +100,5 | + 18488 | + 99,78 | + 18423 | + 99,43 | + 18378 | | |
| + 95,55 | + 18405 | | | | | | |
| + 90,84 | + 18318 | + 90,29 | + 18252 | | | + 89,95 | + |
| + 85,86 | + 18225 | | | + 85,03 | + 18116 | | |
| + 80,87 | + 18128 | + 80,53 | + 18063 | | | | |
| + 75,96 | + 18025 | | | | | | |
| + 70,63 | + 17916 | + 70,42 | + 17850 | + 69,94 | + 17806 | + 69,73 | + |
| + 65,16 | + 17799 | | | | | | |

Serie 4. Fig. 17.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | H | B | H | B | H | B |
| 2 | + 16726 | | | | | | |
| | | + 48,68 | + 17149 | | | | |
| 49 | + 17789 | | | + 70,49 | + 17723 | | |
| | | + 90,36 | + 18209 | | | | |
| 1 | + 18426 | | | | | | |
| 5 | + 18897 | +126,5 | + 18868 | +126,6 | + 18828 | +126,5 | + 18756 |
| 78 | + 18455 | | | | | | |
| | | + 90,22 | + 18247 | | | | |
| 28 | + 17867 | | | + 70,28 | + 17800 | | |

Tab. 4 (Schluss). ℌ und 𝔅.

| Stufenzahl 24 | | Stufenzahl 12 | | Stufenzahl 8 | | Stufenzahl | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | 𝔅 | ℌ | |
| + 59,90 | + 17674 | + 59,62 | + 17606 | | | | |
| + 54,36 | + 17538 | | | + 54,01 | + 17427 | | |
| + 48,82 | + 17390 | + 48,61 | + 17321 | | | + 48,40 | + |
| + 43,14 | + 17224 | | | | | | |
| + 37,39 | + 17037 | + 37,32 | + 16966 | + 37,11 | + 16903 | | |
| + 31,71 | + 16819 | | | | | | |
| + 25,62 | + 16550 | + 25,41 | + 16465 | | | + 25,27 | + |
| + 19,32 | + 16190 | | | + 19,25 | + 16036 | | |
| + 13,23 | + 15603 | + 13,02 | + 15504 | | | | |
| + 6,786 | + 14235 | | | | | | |
| + 0,000 | + 8146 | + 0,000 | + 8129 | + 0,000 | + 8140 | + 0,000 | + |
| | | | | Kommutation | | | |
| — 6,786 | — 12024 | | | | | | |
| — 13,16 | — 14493 | — 13,02 | — 14432 | | | | |
| — 19,32 | — 15536 | | | — 19,25 | — 15376 | | |
| — 25,62 | — 16121 | — 25,48 | — 16059 | | | — 25,27 | — |
| — 31,71 | — 16514 | | | | | | |
| — 37,39 | — 16802 | — 37,32 | — 16749 | — 37,18 | — 16655 | | |
| — 43,21 | — 17037 | | | | | | |
| — 48,82 | — 17235 | — 48,68 | — 17193 | | | — 48,47 | — |
| — 54,42 | — 17408 | | | — 54,01 | — 17380 | | |
| — 59,90 | — 17563 | — 59,76 | — 17523 | | | | |
| — 65,16 | — 17704 | | | | | | |
| — 70,63 | — 17833 | — 70,56 | — 17793 | — 70,00 | — 17718 | — 69,87 | — |
| — 75,96 | — 17952 | | | | | | |
| — 80,94 | — 18064 | — 80,67 | — 18026 | | | | |
| — 85,86 | — 18169 | | | — 85,24 | — 18055 | | |
| — 90,85 | — 18267 | — 90,50 | — 18230 | | | — 89,95 | — |
| — 95,55 | — 18361 | | | | | | |
| —100,5 | — 18450 | —100,1 | — 18413 | — 99,57 | — 18337 | | |
| —105,2 | — 18534 | | | | | | |
| —109,5 | — 18615 | —109,3 | — 18579 | | | —108,4 | — |
| —113,9 | — 18692 | | | —113,1 | — 18579 | | |
| —118,4 | — 18766 | —118,0 | — 18729 | | | | |
| —122,8 | — 18837 | | | | | | |
| —126,8 | — 18905 | —126,4 | — 18869 | —125,9 | — 18792 | —125,8 | — |

Serie 4. Fig. 17.

| ufenzahl 4 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 2 | | Stufenzahl 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | H | B | H | B | H | B |
| 25 | + 16961 | | | | | | |
| 000 | + 8138 | + 0,000 Stromrichtung | + 8151 | + 0,000 | + 8108 | + 0,000 | + 8114 |
| 25 | + 17768 | | | | | | |
| | | — 48,75 | — 17143 | | | | |
| 49 | — 17832 | | | — 70,56 | — 17829 | | |
| | | — 90,36 | — 18202 | | | | |
| ,99 | — 18470 | | | | | | |
| ,5 | — 18940 | —126,5 | — 18860 | —126,6 | — 18934 | —126,5 | — 18757 |

Aus vorstehenden Tabellen ist zunächst ersichtlich, dass die Maximalinduktion in schwachen Feldern mit der Grösse der Stufen wächst. Bei höheren Feldstärken ist ein solcher Unterschied fast gar nicht vorhanden. Dies Ergebnis stimmt nur zum Teil mit den Ermittelungen von Gumlich und Schmidt[1]) überein; insbesondere tritt bei den stärkeren Feldern, die ich anwendete, keine merkliche Abnahme der Remanenz und der Koerzitivkraft mit der Verminderung der Stufenzahl auf. Um nun von vornherein dem Einwande zu begegnen, dass bei meinen Versuchen in den steilen Stellen der $\mathfrak{H}$-$\mathfrak{B}$ Kurven, also in der Nähe der Kommutation der Stromrichtung, die beobachteten Punkte zu weit von einander lägen und so einen Vergleich zwischen der Magnetisierung in grossen und der in kleinen Stufen gerade an diesen Stellen erschwerten, habe ich noch eine gesonderte Beobachtung ausgeführt, die diesem Rechnung trägt.

Die Versuchsanordnung war hierbei ebenso wie bei Serie 3; nur in der Schaltung trat eine Änderung ein. Unter der Annahme zunehmenden Feldes wurden:

| bei der Stufenzahl | die Stufen | hervorgebracht durch |
|---|---|---|
| 21 | 1 | Einschalten v. 3 hinterein. gesch. Roll. |
| | 2 | Hinzuschalt. v. 2 „ „ „ |
| | 3 bis 21 | „ je einer Rolle. |
| 3 | 1 | Einschalten v. 3 hinterein. gesch. Roll. |
| | 2 | Hinzuschalt. v. 2 „ „ „ |
| | 3 | „ v. 19 parallel „ „ |

Der hinzugeschaltete Widerstand wurde immer dem vorher vorhandenen parallel geschaltet.

Ich lasse die Ergebnisse für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ in Tab. 5 folgen.

1) Vgl. pag. 7.

Tab. 5 (Anfang). $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

| Stufenzahl 21 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 21 | | Stufenzahl 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ |
| − 45,70 | + 16735 | + 45,98 | + 16838 | − 33,65 | − 16229 | | |
| 43,76 | + 16682 | | | − 35,87 | − 16328 | | |
| 41,82 | + 16626 | | | − 37,81 | − 16418 | | |
| − 39,88 | + 16567 | | | − 39,88 | − 16502 | | |
| 37,81 | + 16504 | | | − 41,82 | − 16578 | | |
| 35,87 | + 16437 | | | − 43,76 | − 16652 | | |
| − 33,65 | + 16365 | | | − 45,70 | − 16718 | − 45,84 | − 16822 |
| − 31,57 | + 16287 | | | − 43,76 | − 16665 | | |
| − 29,36 | + 16203 | | | − 41,82 | − 16611 | | |
| − 27,14 | + 16112 | | | − 39,88 | − 16551 | | |
| − 24,93 | + 16004 | | | − 37,81 | − 16491 | | |
| − 22,57 | + 15885 | | | − 35,73 | − 16421 | | |
| − 20,36 | + 15747 | | | − 33,65 | − 16349 | | |
| − 17,86 | + 15582 | | | − 31,57 | − 16271 | | |
| − 15,37 | + 15379 | | | − 29,36 | − 16187 | | |
| − 12,74 | + 15114 | | | − 27,14 | − 16094 | | |
| − 10,11 | + 14744 | | | − 24,93 | − 15990 | | |
| − 7,76 | + 14177 | | | − 22,57 | − 15872 | | |
| − 5,12 | + 13185 | | | − 20,22 | − 15735 | | |
| − 2,35 | + 11244 | + 2,35 | + 11256 | − 17,86 | − 15572 | | |
| − 0,97 | + 9581 | + 1,11 | + 9550 | − 15,37 | − 15370 | | |
| − 0,00 | + 7954 | + 0,00 | + 7909 | − 12,74 | − 15108 | | |
| Kommu | tation der | Stromric | htung | − 10,11 | − 14738 | | |
| − 1,11 | + 4929 | − 1,11 | + 4884 | − 7,76 | − 14174 | | |
| − 2,35 | − 6348 | − 2,35 | − 6379 | − 5,12 | − 13191 | | |
| − 5,12 | − 10668 | | | − 2,35 | − 11255 | − 2,35 | − 11287 |
| − 7,76 | − 12417 | | | − 1,11 | − 9595 | − 1,11 | − 9582 |
| − 10,11 | − 13458 | | | − 0,00 | − 7969 | − 0,00 | − 7941 |
| − 12,74 | − 14145 | | | Kommu | tation der | Stromric | htung |
| − 15,37 | − 14629 | | | + 1,11 | − 4969 | + 1,11 | − 4916 |
| − 17,86 | − 14995 | | | + 2,35 | + 6324 | + 2,35 | + 6348 |
| − 20,36 | − 15278 | | | + 5,12 | + 10644 | | |
| − 22,57 | − 15506 | | | + 7,76 | + 12395 | | |
| − 24,93 | − 15696 | | | + 10,11 | + 13426 | | |
| − 27,14 | − 15857 | | | + 12,74 | + 14124 | | |
| − 29,36 | − 15996 | | | + 15,37 | + 14615 | | |
| − 31,57 | − 16119 | | | + 17,86 | + 14974 | | |

Tab. 5 (Schluss). $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

| Stufenzahl 21 | | Stufenzahl 3 | | Stufenzahl 21 | | Stufenzahl 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ | $\mathfrak{H}$ | $\mathfrak{B}$ |
| + 20,22 | + 15262 | | | + 35,73 | + 16306 | | |
| + 22,57 | + 15487 | | | + 37,67 | + 16397 | | |
| + 24,93 | + 15675 | | | + 39,88 | + 16481 | | |
| + 27,14 | + 15836 | | | + 41,82 | + 16558 | | |
| + 29,36 | + 15938 | | | + 43,76 | + 16631 | | |
| + 31,57 | + 16097 | | | + 45,70 | + 16698 | + 45,84 | + 1680 |
| + 33,65 | + 16207 | | | | | | |

Diese Tabelle bestätigt das früher gewonnene Resultat; denn auch hier ist eine merkliche Abnahme des remanenten Magnetismus und der Koerzitivkraft mit der Grösse der Stufen nicht wahrzunehmen.

Die Versuche mit den anderen Ringen führten in dieser Hinsicht zu demselben Ergebnis. Es genügt daher, die etwaigen Unterschiede der Magnetisierung bei verschiedener Stufenzahl durch die Unterschiede der Maximalinduktion zu kennzeichnen.

Ich habe die Werte von $\mathfrak{B}_{max}$ und $\mathfrak{H}_{max}$ nebst den zugehörigen Werten der Permeabilität $\mu = \frac{\mathfrak{B}_{max}}{\mathfrak{H}_{max}}$, der Suszeptibilität $\varkappa = \frac{J}{\mathfrak{H}_{max}}$ und der Intensität der Magnetisierung $J = \frac{\mathfrak{B}_{max} - \mathfrak{H}_{max}}{4\pi}$ für jede Serie in Tabellenform zusammengefasst. Es ist hierbei $\mathfrak{B}_{max}$ das Mittel aus den Absolutwerten der drei beobachteten Maximalinduktionen $\mathfrak{B}$; das Gleiche gilt auch für $\mathfrak{H}_{max}$. Die Indices bei max beziehen sich auf die verwendete Stufenzahl. Ich gebe diese Tabellen wieder, da sie einen schnellen Gesamtüberblick gewähren.

Tab. 6. **Serie 1.** Fig. 14.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 1,312 | 2426 | 193,0 | 1849 | 147,1 | —28,5 |
| 12 | 1,311 | 2935 | 233,4 | 2239 | 178,1 | —13,5 |
| 8 | 1,311 | 3135 | 249,5 | 2391 | 190,3 | — 7,6 |
| 6 | 1,307 | 3185 | 253,3 | 2437 | 193,8 | — 6,1 |
| 4 | 1,313 | 3321 | 264,2 | 2529 | 201,2 | — 2,1 |
| 3 | 1,316 | 3403 | 270,7 | 2586 | 205,7 | + 0,3 |
| 2 | 1,315 | 3398 | 270,3 | 2584 | 205,5 | + 0,2 |
| 1 | 1,313 | 3392 | 269,8 | 2584 | 205,5 | |

Tab. 7. **Serie 2.** Fig. 15.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 10,93 | 13512 | 1074 | 1237 | 98,3 | — 2,0 |
| 12 | 10,92 | 13626 | 1083 | 1248 | 99,2 | — 1,2 |
| 8 | 10,92 | 13795 | 1097 | 1264 | 100,5 | + 0,0 |
| 6 | 10,91 | 13801 | 1097 | 1265 | 100,6 | + 0,1 |
| 4 | 10,93 | 13833 | 1100 | 1266 | 100,7 | + 0,3 |
| 3 | 10,94 | 13826 | 1099 | 1264 | 100,5 | + 0,3 |
| 2 | 10,94 | 13768 | 1095 | 1259 | 100,1 | — 0,2 |
| 1 | 10,93 | 13791 | 1097 | 1263 | 100,4 | |

Tab. 8. **Serie 3.** Fig. 16.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 53,87 | 17242 | 1368 | 320,1 | 25,99 | + 0,4 |
| 12 | 53,89 | 17264 | 1370 | 320,4 | 25,41 | + 0,6 |
| 8 | 53,87 | 17216 | 1366 | 319,6 | 25,35 | + 0,3 |
| 6 | 53,94 | 17264 | 1370 | 320,1 | 25,39 | + 0,6 |
| 4 | 53,94 | 17170 | 1362 | 318,3 | 25,25 | + 0,0 |
| 3 | 53,94 | 17233 | 1367 | 319,5 | 25,34 | + 0,4 |
| 2 | 53,89 | 17199 | 1364 | 319,1 | 25,32 | + 0,2 |
| 1 | 53,94 | 17168 | 1362 | 318,3 | 25,25 | |

Tab. 9. **Serie 4.** Fig. 17.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 126,9 | 18917 | 1495 | 149,1 | 11,79 | + 0,9 |
| 12 | 126,5 | 18853 | 1490 | 149,0 | 11,78 | + 0,5 |
| 8 | 125,9 | 18810 | 1487 | 149,4 | 11,81 | + 0,3 |
| 6 | 126,5 | 18897 | 1494 | 149,4 | 11,81 | + 0,7 |
| 4 | 126,6 | 18895 | 1493 | 149,3 | 11,80 | + 0,7 |
| 3 | 125,8 | 18786 | 1485 | 149,3 | 11,80 | + 0,2 |
| 2 | 126,5 | 18868 | 1491 | 149,2 | 11,79 | + 0,6 |
| 1 | 126,5 | 18757 | 1483 | 148,2 | 11,72 | |

Resultat: Der grösste Einfluss der Stufenzahl zeigt sich bei Serie 1 (Tab. 6). Es beträgt hier der Unterschied zwischen $\mathfrak{B}_{max_1}$ und $\mathfrak{B}_{max_{24}}$ 28,5% von $\mathfrak{B}_{max_1}$. Dies ist ein ausserordentlich hoher Prozentsatz im Vergleich zu den ca. 6%, die Gumlich und Schmidt[1]) bei ungefähr gleicher Maximalfeldstärke (1,12) als grössten Unterschied erhalten haben. Die Erklärung hierfür wird an späterer Stelle erfolgen. Bei Serie 2 (Tab. 7) ist die grösste Differenz nur noch 2%. In der Nähe der Sättigung, also bei Serie 3 und 4, erscheint die Maximalinduktion bei grossen Stufen sogar etwas kleiner als die bei kleinen Stufen. Jedoch ist der grösste Unterschied nur gering (noch nicht 1%). Nach den Tabellen 6—9 treten die grössten Differenzen in der Maximalinduktion bei hohen Werten der Permeabilität auf (Tab. 6). Die Versuche mit anderen Ringen dürften aber erst zeigen, ob diese Beziehung nur bei dem untersuchten Eisenringe zutrifft oder allgemeinere Gültigkeit besitzt.

1) l. c.

### Vesuche mit einem Ringe aus gehärtetem Wolframstahl.

Von der Firma Gebr. Böhler & Co., Wien, wird ein äusserst sorgfältig hergestellter und daher homogener Wolframstahl in den Handel gebracht. Die einzelnen Sorten desselben sind je nach der chemischen Zusammensetzung mit verschiedenen Zeichen versehen. Das mir zur Verfügung stehende Stück, ein Ring mit rechteckigem Querschnitt, trug die Stempelmarke ☆ ME. Dieser Reifring wurde in der Maschinenfabrik Wegelin & Hübner sorgfältig zu einem Toroide abgedreht. Dann wurde er in Holzkohle eingepackt, bis zur Rotglut erhitzt und plötzlich in Wasser abgeschreckt. Geometrische Verzerrungen traten bei dem Härten nicht auf. Die Daten des Ringes sind:

der Querschnitt $q_1 = 0{,}3125$ qcm (geometrisch gefunden)
„ „ $q_2 = 0{,}3121$ „ (durch Wägung)
„ Mittelwert $q = 0{,}3123$ „
der Durchmesser des Leitkreises . . . . . = 10,039 cm
der Querschnittsdurchmesser . . . . . = 0,631 „
das spez. Gewicht . . . . . = 8,019 „

Der Ring wurde in derselben Weise gleichförmig bewickelt wie der Eisenring. Es besteht:

die Primärspule aus 2 Lagen 1 mm dicken Drahtes in 363 Windungen und
die Sekundärspule aus 1 Lage 0,5 mm dicken Drahtes in 507 Windungen.

Da auch hier die auf das Interferrikum bezügliche Korrektion vernachlässigt werden kann, so ist die magnetische Induktion gegeben durch:

$$\mathfrak{B} = \frac{e}{q \cdot \beta \cdot \mathfrak{R}} \cdot \Sigma \alpha.$$

Ferner ist:

$$\mathfrak{H} = \frac{0{,}2\,N}{r} i_{amp} = 14{,}463 \cdot i_{amp}.$$

### Serie 1. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 1,9.

Bei hartem Stahl tritt die Hysteresis, wie besonders M. Heyse[1]) gezeigt hat, bei geringen Feldstärken nur sehr schwach auf. Um sie zu messen, muss das Galvanometer sehr empfindlich sein. Das Edelmannsche Galvanometer erfüllte diese Bedingung nicht in genügendem Masse. Ich verwendete daher hierzu ein Panzergalvanometer nach Du Bois und Rubens. Als Etalon benutzte ich auch hier den Magnetinduktor; nur vertauschte ich die Rolle desselben mit einer kleineren. Diese gebe als Integral der el. Kraft den Wert e′; dann ergibt sich durch Vergleichung der Ausschläge $\beta_1$ bezw. $\gamma_1$ der beiden hintereinander geschalteten Rollen aus:

$$\frac{e}{w} = c\,\beta_1\,,$$

$$\frac{e'}{w} = c\,\gamma_1\,,$$

$$e' = \frac{\gamma_1}{\beta_1} \cdot e\,,$$

also

$$\mathfrak{B} = \frac{\gamma_1\, e}{\beta_1 \cdot q \cdot \mathfrak{N} \cdot \beta} \Sigma\,\alpha.$$

Da bei den Panzergalvanometern die Empfindlichkeit innerhalb grösserer Zeitintervalle variiert, ein Aichen aber während der Beobachtung nicht stattfinden konnte, so begnügte ich mich bei dieser Serie mit dem ersten Kreisprozesse. Die Versuchsanordnung war schematisch dieselbe wie beim Eisenring Serie 1 (Fig. 7).

---

1) l. c.

Tab. 10. **Serie 1.**

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 1,904 | 72,15 | 5,590 | 37,89 | 2,936 | + 1,2 |
| 12 | 1,906 | 71,85 | 5,566 | 37,70 | 2,920 | + 0,7 |
| 8 | 1,903 | 71,43 | 5,533 | 37,54 | 2,908 | + 0,2 |
| 6 | 1,911 | 71,86 | 5,567 | 37,60 | 2,913 | + 0,8 |
| 4 | 1,906 | 71,42 | 5,532 | 37,47 | 2,902 | + 0,1 |
| 3 | 1,906 | 71,31 | 5,523 | 37,41 | 2,898 | + 0,0 |
| 2 | 1,902 | 71,09 | 5,506 | 37,38 | 2,895 | — 0,3 |
| 1 | 1,897 | 71,32 | 5,524 | 37,60 | 2,912 | |

Die Figur zu dieser Serie habe ich weggelassen, da sich die Hysteresisschleife bei der hier nötigen Verkleinerung fast gar nicht von einer Geraden unterschieden haben würde; denn bei dem Massstabe $\mathfrak{B} = 1 (= 2$ mm) und $\mathfrak{H} = 1 (= 50$ mm) betrug die grösste Breite der Schleife kaum 1 mm.

### Serie 2. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 11,0.

Zu diesen und den folgenden Versuchen wurde wieder das Edelmannsche Galvanometer verwendet und ebenso die alte Rolle beim Magnetinduktor. Es gilt also hier wieder:

$$\mathfrak{B} = \frac{e}{q \cdot \beta \cdot \mathfrak{N}} \Sigma \alpha.$$

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie beim Eisenring Serie 2 (Fig. 8).

Tab. 11. **Serie 2.** Fig. 18.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 10,89 | 426,1 | 33,04 | 39,14 | 3,035 | — 2,2 |
| 12 | 10,90 | 429,6 | 33,32 | 39,43 | 3,058 | — 1,4 |
| 8 | 10,88 | 428,1 | 33,20 | 39,36 | 3,052 | — 1,4 |
| 6 | 10,89 | 431,7 | 33,49 | 39,66 | 3,076 | — 0,9 |
| 4 | 10,89 | 433,0 | 33,59 | 39,78 | 3,086 | — 0,6 |
| 3 | 10,90 | 433,3 | 33,61 | 39,75 | 3,084 | — 0,5 |
| 2 | 10,90 | 434,9 | 33,74 | 39,90 | 3,096 | — 0,1 |
| 1 | 10,92 | 435,9 | 33,80 | 39,96 | 3,100 | |

### Serie 3. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 55,0.

Die Versuchsanordnung ist ebenso wie beim Eisenring Serie 3.

Tab. 12. Fig. 19.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 55,25 | 4067 | 319,2 | 75,59 | 5,778 | —10,6 |
| 12 | 55,40 | 4233 | 332,5 | 76,41 | 6,001 | — 6,9 |
| 8 | 55,25 | 4298 | 337,6 | 77,80 | 6,111 | — 5,5 |
| 6 | 55,40 | 4340 | 340,9 | 78,33 | 6,153 | — 4,6 |
| 4 | 55,40 | 4348 | 341,6 | 78,48 | 6,166 | — 4,4 |
| 3 | 55,40 | 4361 | 342,6 | 78,72 | 6,185 | — 4,1 |
| 2 | 55,40 | 4431 | 348,2 | 79,98 | 6,285 | — 2,6 |
| 1 | 55,49 | 4548 | 357,5 | 81,96 | 6,442 | |

### Serie 4. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 131,0.

Die Versuchsanordnung ist analog Eisenring Serie 4.

Tab. 13. Fig. 20.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 131,6 | 12455 | 980,7 | 94,64 | 7,452 | — 2,7 |
| 12 | 131,3 | 12650 | 993,9 | 96,12 | 7,569 | — 1,4 |
| 8 | 131,1 | 12683 | 998,9 | 96,74 | 7,619 | — 0,9 |
| 6 | 130,9 | 12713 | 1001 | 97,12 | 7,649 | — 0,7 |
| 4 | 130,7 | 12755 | 1004 | 97,59 | 7,686 | — 0,4 |
| 3 | 130,7 | 12766 | 1005 | 97,67 | 7,693 | — 0,3 |
| 2 | 130,7 | 12861 | 1013 | 98,40 | 7,751 | + 0,5 |
| 1 | 130,6 | 12802 | 1008 | 98,02 | 7,721 | |

Ergebnis: Aus den vorstehenden Tabellen ergibt sich ein anscheinend entgegengesetztes Resultat wie beim Eisenringe; denn hier ist der Unterschied in der Maximalinduktion bei Serie 1 (Tab. 10), also in schwachen Feldern, am kleinsten[1])

1) Dass die Hysteresis in schwachen Feldern bei Stahlringen nur sehr schwach auftritt, zeigten schon die Untersuchungen von M. Heyse (l. c.), die sich auch auf den etwaigen Einfluss der Hysteresis auf die Dämpfung des Galvanometers erstreckten.

und in starken Feldern (Serie 3. Tab. 12), wo beim Eisenringe sich fast gar kein Unterschied zeigte, am grössten. Selbst bei den höchsten Feldstärken, mit denen ich arbeitete (Serie 4), tritt hier eine deutliche Zunahme von $\mathfrak{B}_{max}$ mit der Grösse der Stufen ein. Eine Abhängigkeit dieser Erscheinung von der Feldstärke existiert also nicht; wohl aber kann man auch hier wahrnehmen, dass die grössten Unterschiede in der Maximalinduktion bei verschiedener Stufenzahl in der Nähe des Maximums der Permeabilität auftreten. Interessant ist bei diesem Ringe noch der Wechsel der Gestalt der $\mathfrak{H}$-$\mathfrak{B}$ Kurven mit wachsendem $\mathfrak{H}_{max}$. Während diese Schleifen in schwachen Feldern äusserst schmal sind, nehmen sie bei hohen Feldstärken eine ausserordentliche Breite an. Es ist dies das beste Zeichen für gelungenes Härten. Aus Fig. 20 für Serie 4 ist für die Koerzitivkraft der Wert 60 (C. G. S.) zu entnehmen, ein Betrag, der selten[1]) bei Stahl erreicht wird.

### Herstellung der Drahtringe.

Um zu sehen, ob die bei dem Eisen- und dem Stahlringe beobachtete Erscheinung etwa mit den in massiven Metallmassen entstehenden Wirbelströmen in ursächlichem Zusammenhange steht, untersuchte ich noch zwei Ringe aus dünnem Draht. Der eine bestand aus weichem Blumendraht und der andere aus hartem Stahldraht. Die Grössenverhältnisse der Ringe waren ungefähr dieselben wie die der massiven Ringe. Der Querschnitt war aber ein anderer. Ich wählte ihn nicht kreisförmig, sondern rechteckig (Seiten ca. 0,6 cm), da dies ein leichteres Wickeln ermöglicht. Eine in einen Holzzylinder gedrehte Nut hatte die Dimensionen, die der Ring erhalten sollte. In diese wurde der Draht,

1) Der Höchstwert der Koerzitivkraft ist bei Wolframstahl nach Du Bois. „Magnetische Kreise, deren Theorie und Anwendung". 1894. pag. 245. 50 (C. G S) und nach F. Kohlrausch. „Lehrbuch der praktischen Physik". 9. Aufl. 1901. pag. 469. 50—70 (C. G. S.).

der vorher zwecks guter Isolation[1]) mehrmals mit Schellack bestrichen worden war, aufgewickelt und die Windungen gezählt; es waren deren in beiden Fällen 480. Diese Anzahl durchsetzt also den Querschnitt des Ringes. Mittels Schellack wurde den Ringen eine festere Gestalt gegeben und dann das Holz abgedreht. Die Bestimmung der Daten konnte bei diesen Ringen natürlich nicht so genau erfolgen wie bei denen mit massiven Kernen. Der dabei begangene Fehler dürfte aber nur gering sein und fällt wenig ins Gewicht, da meine Messungen hauptsächlich einen vergleichenden Zweck verfolgen. Den Querschnitt des Drahtes ermittelte ich aus dem mir durch Masse und spezifisches Gewicht bekannten Volumen, dem mittleren Durchmesser des Leitkreises und der Zahl der Drahtwindungen. Die anderen Dimensionen wurden mittels Dickenmesser und Schublehre bestimmt.

### Versuche mit dem Ringe aus Blumendraht.

Der Blumendraht, der hier verwendet wurde, entstammt der Drahtzieherei der Westfälischen Union in Hamm. Die Daten sind:

Masse . . . . . = 81,8 g
Zahl der den Querschnitt durchsetzenden Drähte = 480
Gesamtquerschnitt $q_1$ der Drahtwindungen = 0,3276 qcm
Querschnitt des Interferrikums . . . . . = 0,2065 „
also Gesamtquerschnitt . . . . . = 0,5341 „
Durchmesser des Leitkreises = 10,08 cm
Durchmesser des Drahtes . = 0,0293 „ (berechnet)
„ „ „ . = 0,0280 „ (von der Firma
das spez. Gewicht . . . . = 7,884. angegeben)

Die Bewickelung des Ringes erfolgte ebenso wie bei den früheren Ringen. Es enthält:

1) Nach den Untersuchungen von M. Wien l. c. ist übrigens der Widerstand an den Berührungsstellen der Drähte so gross, dass eine besondere Isolation gar nicht erforderlich ist.

die Primärspule in 2 Lagen 331 Windungen und die Sekundärspule in 1 Lage 479 Windungen. Die Drahtdicke ist hierbei 1 mm bezw. 0,5 mm.

Die Korrektion infolge des Interferrikums darf bei diesem Ringe bei der Berechnung von $\mathfrak{B}$ nicht vernachlässigt werden. Es ist also:

$$\mathfrak{B} = \frac{e}{q_1 \cdot \beta \cdot \mathfrak{R}} \Sigma \alpha - \frac{q_2}{q_1} \cdot \mathfrak{H}.$$

### Serie 1. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 2,0.

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 1.

Tab. 14. Fig. 21.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 2,037 | 553,2 | 43,86 | 271,6 | 21,53 | — 2,6 |
| 12 | 2,038 | 565,7 | 44,86 | 277,6 | 22,01 | — 0,4 |
| 8 | 2,038 | 556,6 | 44,14 | 273,1 | 21,66 | — 2,0 |
| 6 | 2,037 | 554,2 | 43,94 | 272,1 | 21,57 | — 2,4 |
| 4 | 2,038 | 569,8 | 45,18 | 279,6 | 22,17 | + 0,3 |
| 3 | 2,042 | 559,6 | 44,37 | 274,0 | 21,73 | — 1,5 |
| 2 | 2,040 | 564,8 | 44,79 | 276,9 | 21,95 | — 0,5 |
| 1 | 2,041 | 567,9 | 45,03 | 278,2 | 22,06 | |

### Serie 2. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 10,2.

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 2.

Tab. 15. Fig. 22.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (-) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 10,24 | 8832 | 702,0 | 862,6 | 68,56 | — 2,0 |
| 12 | 10,22 | 8987 | 714,4 | 879,5 | 69,91 | — 0,3 |
| 8 | 10,24 | 9031 | 717,9 | 882,0 | 70,11 | + 0,2 |
| 6 | 10,24 | 8951 | 711,5 | 873,0 | 69,40 | — 0,7 |
| 4 | 10,24 | 8982 | 714,0 | 876,1 | 69,64 | — 0,3 |
| 3 | 10,24 | 8983 | 714,0 | 877,3 | 69,74 | — 0,3 |
| 2 | 10,24 | 9004 | 715,7 | 878,3 | 69,81 | — 0,1 |
| 1 | 10,24 | 9013 | 716,4 | 879,0 | 69,87 | |

### Serie 3. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 48,8.

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 3.

Tab. 16. Fig. 23.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 48,72 | 15882 | 1260 | 326,0 | 25,86 | — 0,8 |
| 12 | 48,72 | 15934 | 1264 | 327,1 | 25,95 | — 0,4 |
| 8 | 48,85 | 15953 | 1266 | 326,6 | 25,91 | — 0,3 |
| 6 | 48,72 | 15961 | 1266 | 327,6 | 25,99 | — 0,3 |
| 4 | 48,72 | 15981 | 1268 | 328,0 | 26,02 | — 0,2 |
| 3 | 48,85 | 15960 | 1266 | 327,5 | 25,93 | — 0,3 |
| 2 | 48,72 | 15959 | 1266 | 327,5 | 25,99 | — 0,3 |
| 1 | 48,81 | 16006 | 1270 | 327,9 | 26,02 | |

### Serie 4. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 117,0.

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 4.

Tab. 17. Fig. 24.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 116,5 | 17647 | 1395 | 151,5 | 11,97 | + 0,7 |
| 12 | 116,4 | 17620 | 1393 | 151,4 | 11,97 | + 0,6 |
| 8 | 116,5 | 17663 | 1396 | 151,6 | 11,99 | + 0,9 |
| 6 | 116,3 | 17608 | 1392 | 151,4 | 11,97 | + 0,6 |
| 4 | 116,5 | 17644 | 1395 | 151,5 | 11,97 | + 0,8 |
| 3 | 116,5 | 17614 | 1392 | 151,2 | 11,95 | + 0,6 |
| 2 | 116,2 | 17580 | 1390 | 151,3 | 11,96 | + 0,4 |
| 1 | 116,6 | 17510 | 1384 | 150,2 | 11,87 | |

Nach vorstehenden Tabellen besteht bei diesem Ringe nur eine geringe Abhängigkeit der Maximalinduktion von der Stufenzahl. Der grösste Unterschied beträgt hier 2,6% (Tab. 14) gegen 10,6% beim Stahl- (Tab. 12) und 28,5% beim Eisenringe (Tab. 6). Der Grund hierfür konnte darin liegen, dass die verwendeten Felder nicht geeignet waren, grössere Unterschiede hervortreten zu lassen. Darauf deutet

besonders die grosse Differenz zwischen den erreichten Maximalinduktionen bei Serie 1 (Tab. 14; $\mathfrak{B}_{max}$ ca. 560) und Serie 2 (Tab. 15; $\mathfrak{B}_{max}$ ca. 9000) hin. Ich entschloss mich daher, mit diesem Ringe noch eine fünfte Versuchsreihe anzustellen und zwar mit einer Maximalfeldstärke, die ungefähr in der Mitte zwischen der bei Serie 1 und bei Serie 2 angewendeten gelegen ist. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei Serie 1; nur verwendete ich statt des Manganindrahtes C D (Fig. 7) einen Streifen Rheotanblech.

**Serie 5. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 4,5.**

Tab. 18. Fig. 25.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 4,600 | 3610 | 286,9 | 784,9 | 62,38 | — 7,8 |
| 12 | 4,592 | 3864 | 307,2 | 841,6 | 66,89 | — 1,3 |
| 8 | 4,583 | 3799 | 301,9 | 828,9 | 65,88 | — 3,0 |
| 6 | 4,600 | 3815 | 303,2 | 829,3 | 65,92 | — 2,6 |
| 4 | 4,583 | 3874 | 307,9 | 845,2 | 67,18 | — 1,1 |
| 3 | 4,596 | 3898 | 309,8 | 848,1 | 67,41 | — 0,5 |
| 2 | 4,583 | 3864 | 307,1 | 843,1 | 67,01 | — 1,3 |
| 1 | 4,596 | 3916 | 311,3 | 852,0 | 67,72 | |

Diese Tabelle lässt wieder einen Einfluss der Stufenzahl deutlich erkennen.

Resultat: Die Unterschiede in der Maximalinduktion bei verschiedener Stufenzahl sind bei dem Ringe aus Blumendraht in den schwächsten Feldern gering und ebenso bei den höheren Feldstärken. Dazwischen, bei $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 4,5, sind sie am grössten. Dies soll aber nur in Bezug auf meine Versuche gesagt sein, denn es ist wohl möglich, dass zwischen $\mathfrak{H}_{max}$ 2,0 und $\mathfrak{H}_{max}$ 10,0 ein anderes $\mathfrak{H}_{max}$ als $\mathfrak{H}_{max}$ 4,5 einen noch grösseren Unterschied zeigen könnte. Aus den Tabellen für diesen Ring ist ersichtlich, dass der grösste Einfluss der Stufenzahl sich wieder bei hohen Werten

der Permeabilität geltend macht, und zwar bei solchen Werten, die ähnlich wie beim Stahlringe, dicht vor dem Maximum der Permeabilität liegen.

Der Blumendraht, aus dem der Ring besteht, ist magnetisch härter als das Material des Eisenringes. Während bei diesem die Maximalinduktion bei $\mathfrak{H}_{max}$ 1,2 (Tab. 6. Serie 1) ca. 2000—3000 beträgt, hat sie bei dem Drahtringe trotz des grösseren $\mathfrak{H}_{max} = 2{,}0$ (Tab. 14. Serie 1) nur den Wert 560. Die Koerzitivkraft dagegen ist hier, wie die Fig. 22 bis 24 zeigen, grösser als bei dem massiven Ringe.

**Versuche mit dem Ringe aus hartem Stahldraht.**

Der Draht zu diesem Ringe wurde von der Firma Jac. Ravené Söhne & Co., Berlin, bezogen; er wurde als harter englischer Stahldraht bezeichnet. Die Daten des Ringes sind:

die Masse . . . . . = 69,2 g
Zahl der den Querschnitt durchsetzenden Drahtwindungen . . . . . = 480
Gesamtquerschnitt $q_1$ der Drahtwindungen = 0,2864 qcm
der Querschnitt $q_2$ des Interferrikums . . = 0,3472 „
also der Gesamtquerschnitt q . . . . . = 0,6336 „
der Durchmesser des Leitkreises = 9,887 cm
der Durchmesser des Drahtes = 0,0276 „ (berechnet)
„ „ „ „ = 0,0280 „ (von der Firma angegeben)
das spez. Gewicht . . . . . = 7,782.

Die Kanten dieses Ringes gefährdeten die Isolation der Sekundärspule. Deshalb wurde der Ring mehrmals mit Seidenpapier umwickelt und dieses mit Schellack festgeklebt. Das Interferrikum ist daher hier grösser als beim Ringe aus Blumendraht. Das Bewickeln erfolgte in derselben Weise und mit den entsprechenden Drahtsorten. Die Sekundärspule enthält in einer Lage 451 Windungen und die Primärspule in zwei Lagen insgesamt 302 Windungen.

Für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$ gelten hier die analogen Formeln wie beim Blumendrahtringe.

### Serie 1. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 1,7.

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie beim Eisenringe Serie 1; nur wurde bei den Stufenzahlen 24 und 12 aus demselben Grunde wie beim Stahlringe Serie 1 das Panzergalvanometer benützt.

Tab. 19. **Serie 1.** Fig. 26.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 1,707 | 98,33 | 7,689 | 57,61 | 4,504 | — 3,2 |
| 12 | 1,712 | 100,3 | 7,846 | 58,59 | 4,583 | — 1,2 |
| 8 | 1,713 | 100,7 | 7,879 | 58,80 | 4,600 | — 0,8 |
| 6 | 1,712 | 100,7 | 7,879 | 58,83 | 4,602 | — 0,8 |
| 4 | 1,711 | 100,7 | 7,877 | 58,85 | 4,606 | — 0,8 |
| 3 | 1,711 | 100,9 | 7,891 | 58,95 | 4,612 | — 0,7 |
| 2 | 1,712 | 101,2 | 7,917 | 59,11 | 4,625 | — 0,3 |
| 1 | 1,712 | 101,6 | 7,945 | 59,32 | 4,641 | |

### Serie 2. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 9,4.

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 2.

Tab. 20. Fig. 27.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (—) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 9,420 | 880,6 | 69,33 | 93,48 | 7,359 | — 6,5 |
| 12 | 9,424 | 909,0 | 71,59 | 96,45 | 7,596 | — 3,5 |
| 8 | 9,428 | 924,0 | 72,78 | 98,01 | 7,720 | — 1,9 |
| 6 | 9,428 | 919,5 | 72,42 | 97,53 | 7,682 | — 2,4 |
| 4 | 9,432 | 939,1 | 73,98 | 99,57 | 7,844 | — 0,3 |
| 3 | 9,432 | 929,3 | 73,20 | 98,53 | 7,761 | — 1,3 |
| 2 | 9,428 | 936,5 | 73,78 | 99,33 | 7,825 | — 0,6 |
| 1 | 9,428 | 942,0 | 74,22 | 99,92 | 7,872 | |

**Serie 3. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 46,6.**

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 3.

Tab. 21. Fig. 28.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (−) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 46,62 | 15151 | 1202 | 325,0 | 25,78 | — 4,5 |
| 12 | 46,67 | 15294 | 1212 | 327,7 | 26,00 | — 3,6 |
| 8 | 46,67 | 15395 | 1221 | 329,9 | 26,17 | — 3,0 |
| 6 | 46,67 | 15420 | 1223 | 330,4 | 26,21 | — 2,8 |
| 4 | 46,67 | 15414 | 1223 | 330,3 | 26,20 | — 2,9 |
| 3 | 46,67 | 15489 | 1229 | 331,9 | 26,33 | — 2,4 |
| 2 | 46,67 | 15681 | 1244 | 336,0 | 26,66 | — 1,2 |
| 1 | 46,76 | 15868 | 1259 | 339,4 | 26,92 | |

**Serie 4. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 111,0.**

Versuchsanordnung wie beim Eisenring Serie 4.

Tab. 22. Fig. 29.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (−) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 111,0 | 17118 | 1353 | 154,2 | 12,19 | + 0,6 |
| 12 | 110,6 | 17004 | 1344 | 153,7 | 12,15 | — 0,1 |
| 8 | 111,2 | 17027 | 1346 | 153,1 | 12,11 | + 0,0 |
| 6 | 110,7 | 16906 | 1337 | 152,7 | 12,07 | — 0,7 |
| 4 | 111,2 | 17099 | 1352 | 153,8 | 12,16 | + 0,5 |
| 3 | 111,3 | 17005 | 1344 | 152,8 | 12,08 | — 0,1 |
| 2 | 110,7 | 17002 | 1344 | 153,6 | 12,14 | — 0,1 |
| 1 | 111,2 | 17021 | 1346 | 152,3 | 12,10 | |

Da nach diesen Tabellen der Unterschied der Maximalinduktionen zwischen Serie 2 (Tab. 20. $\mathfrak{B}_{max}$ ca. 910) und Serie 3 (Tab. 21. $\mathfrak{B}_{max}$ ca. 15500) sehr gross ist, so wurde auch hier noch eine Versuchsserie angereiht, die einen ungefähr in der Mitte zwischen den beiden Serien gelegenen Wert für $\mathfrak{B}_{max}$ liefern sollte. Einige Vorversuche gaben die passende Maximalfeldstärke an. Die Versuchsanordnung ist schematisch dieselbe wie bei Serie 2.

Tab. 23. **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 18,7.** Fig. 30.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (−) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 18,72 | 7896 | 626,8 | 421,7 | 33,48 | −10,0 |
| 12 | 18,73 | 8574 | 680,8 | 457,8 | 36,35 | − 2,6 |
| 8 | 18,74 | 8682 | 689,4 | 463,3 | 36,77 | − 1,4 |
| 6 | 18,74 | 8775 | 696,8 | 468,3 | 37,18 | − 0,3 |
| 4 | 18,73 | 8782 | 697,3 | 468,8 | 37,23 | − 0,2 |
| 3 | 18,74 | 8849 | 702,7 | 472,2 | 37,50 | + 0,5 |
| 2 | 18,74 | 8745 | 694,4 | 466,6 | 37,06 | − 0,6 |
| 1 | 18,73 | 8802 | 698,9 | 469,9 | 37,32 | |

Resultat: Aus den Tabellen geht hervor, dass der Einfluss der Stufenzahl bei dem Ringe aus Stahldraht in schwachen und in starken Feldern gering, dagegen bei mittleren Feldstärken erheblich ist. Sie bestätigen auch die früheren Ergebnisse vollauf; denn es zeigt sich hier ebenfalls die grösste Abhängigkeit von der Stufenzahl bei hohen Werten der Permeabilität. Bemerkenswert ist bei den Versuchen mit diesem Ringe die hohe Retentionsfähigkeit. Sie beträgt bei Serie 4 ca. 80% und ist um wenige Prozente (ca. 5%) grösser als bei der gleichen Serie beim Stahlringe. Die Koerzitivkraft hat hierbei den Wert von ca. 18 (C. G. S.). Sie ist nur etwa $^1/_3$ so gross als beim massiven Ringe, dessen höhere Koerzitivkraft durch den Gehalt an Wolfram bedingt ist.

Bei den Drahtringen sind die Wirbelströme durch die Massenzerteilung möglichst vermieden. Trotzdem zeigen sich auch hier erhebliche Unterschiede in der Maximalinduktion bei verschiedener Stufenzahl. Die Wirbelströme können daher auf diese Erscheinung höchstens einen geringen Einfluss[1]) ausüben.

1) Der Einfluss der Wirbelströme ist bei der Magnetisierung überhaupt nur gering, wie die Versuche von: F. Kirstädter. „Zur Magnetsierung eiserner Hohl- und Vollringe". Wied. Ann. 65. Bd. 1898 pag. 85. und M. Wien. l. c. zeigen.

## Die Ergebnisse der Versuche nach der ballistischen Methode.

Um einen raschen Überblick über die gewonnenen Resultate zu ermöglichen, habe ich mich der graphischen Darstellung bedient und dabei nur die Werte für die grösste und die kleinste Stufenzahl, also 24 und 1, berücksichtigt.

Fig. 31 stellt für die einzelnen Ringe die Punkte der $\mathfrak{H}_{max}$ — $\mathfrak{B}_{max}$ Kurve dar. Aus der Figur kann erkannt werden:

1. Dass das $\mathfrak{B}_{max}$ in schwachen Feldern für die verschiedenen Stufenzahlen ziemlich gleich ist. Der Eisenring macht zwar hierin eine Ausnahme, denn er zeigt bei den kleinsten verwendeten Feldstärken gerade die grössten Unterschiede. Ich glaube aber, dass auch bei ihm in genügend schwachen Feldern der Einfluss der Stufen verschwindend sein wird.
2. Dass bei den mittleren Werten der Induktion stets eine Abhängigkeit von der Stufenzahl vorhanden ist.
3. Dass bei hohen Feldstärken und hohen Werten der Induktion, also in der Nähe der Sättigung, merkliche, durch die Grösse der Stufen bedingte Unterschiede nicht auftreten. Die vorhandenen geringen Differenzen sind derart, dass der kleinsten Stufenzahl ein grösseres $\mathfrak{B}_{max}$ entspricht als der grössten.[1]) Eine Ausnahme hiervon macht der Stahlring. Dieser scheint aber noch nicht genügend nahe der Sättigung zu sein, wo sich nach meiner Meinung das Gleiche wie bei den anderen Ringen ergeben dürfte.

In Fig. 32 habe ich für die Ringe die entsprechenden Werte von $\mathfrak{H}_{max}$ und $\mu$ verwendet. Diese Figur zeigt deutlich die Abhängigkeit des Einflusses der Stufenzahl von der Permeabilität. Aus ihr ist zu entnehmen:

---

1) Vergl. G. Wiedemann. „Die Lehre von der Elektrizität". 2 Aufl. Bd. 3. 1895. pag. 499, Abs. 3.

1. Dass bei niederen Werten der Permeabilität der Unterschied bei der Magnetisierung in verschiedenen Stufen sehr gering ist.
2. Dass bei hohen Werten der Permeabilität der Einfluss der Stufenzahl am grössten ist. Aus der Zeichnung für den Stahlring und für den Ring aus Blumendraht glaube ich schliessen zu dürfen, dass die Werte der Permeabilität, bei denen die grösste Abhängigkeit von der Stufenzahl auftritt, dicht vor dem Maximum der Permeabilität liegen.

Das Hauptergebnis der Untersuchungen nach der ballistischen Methode ist: „Der Einfluss der Stufenzahl auf den magnetischen Zustand von Eisen und Stahl ist in der Nähe des Maximums der Permeabilität am grössten."

## Untersuchungen nach der unipolaren Methode.

Das Resultat, zu dem die Untersuchungen nach der ballistischen Methode führten, veranlasste mich, dasselbe Material nach einer anderen Methode, und zwar nach der sog. unipolaren, auf seine magnetischen Eigenschaften zu prüfen. Es kam mir dabei besonders darauf an, nachzusehen, ob sich auch hier ein Einfluss der Stufenzahl in den Feldern bemerkbar macht, in denen sich ein solcher bei den Versuchen nach der ballistischen Methode zeigte. Von einer Beschreibung der unipolaren Methode will ich mit dem Hinweis auf die ausführliche Darstellung Ewings[1]) absehen. Für sie eignen sich besonders sehr lange zylinderförmige Versuchsobjekte. Die Drahtsorten, die ich zu den beiden letzten Ringen verwendet hatte, liessen sich demnach hierzu sehr gut verwerten; und so entnahm ich auch den Drahtrollen, die das Material zu den Ringen geliefert hatten, die für diese Versuche nötigen Drähte. Diese

1) l. c. pag. 41 ff.

waren entsprechend der 40 cm langen Magnetisierungsspule 30 cm lang. Sowohl beim Blumendraht wie beim Stahldraht klebte ich mittels Schellack je drei dieser Versuchsdrähte zu einem Bündel zusammen.[1]) Von dem Eisen und dem Stahle der massiven Ringe waren zwar noch einige Abfälle vorhanden, ihre Bearbeitung zu dünnen Drähten, die für diese Methode erforderlich sind, würde aber die mechanischen und die magnetischen Eigenschaften erheblich verändert haben. Ich sah daher von einer Untersuchung dieser beiden Materialien ab.

### Neu hinzukommende Apparate.

Während bei der ballistischen Methode nur die Beobachtung einer plötzlichen Änderung der magnetisierenden Kraft möglich ist, gestattet die unipolare auch eine stetige Magnetisierung zu verfolgen. Die hierzu nötige kontinuierliche Änderung des magnetisierenden Stromes wird meist durch einen Flüssigkeitswiderstand herbeigeführt. Ein solcher wurde auch für diese Untersuchungen wesentlich nach den Angaben Ewings[2]) hergestellt (Fig. 6). In dem ca. 40 cm hohen und 6 cm weiten Glaszylinder A, der mittels der passend gedrehten Ringplatte B auf dem Brett C befestigt ist, befinden sich die drei amalgamierten 0,3 cm dicken Zinkplatten d, e, f. Diese sind mit den Klemmen a, b, c verbunden. In dem Glaszylinder sind die Verbindungsdrähte durch eine Glasröhre und aussen durch einen Gummischlauch isoliert. Die obere Platte f ist fest und ebenso die untere d; die mittlere e kann zwischen beiden verschoben und in jeder Lage durch die Klemme g festgehalten werden. Die jedesmalige Stellung gibt der Zeiger h an der Skala i an. Gefüllt ist der Zylinder mit einer ca. 20% Zinksulfatlösung. Der Gesamtwiderstand der Säule beträgt ungefähr 30 Ω.

1) Es verhält sich der Durchmesser des Bündels zur Länge desselben angenähert wie 1 zu 500.

2) l. c. pag. 45.

Bei diesem Flüssigkeitswiderstande sind zwei Schaltungsarten möglich. Ist zunächst die Batterie mit c und b verbunden, so kann man den Widerstand der Säule durch Emporziehen der Platte e von d bis f kontinuierlich von 0 bis 30 ≫O➢ ändern. Die Schaltung ist aber für die vorliegenden Versuche nicht zweckmässig, da durch sie infolge des Widerstandes des übrigen Stromkreises[1]) die Änderung der magnetisierenden Kraft nicht bis zu dem Werte Null erfolgen kann. Dies ist aber durch folgende Schaltung möglich. An a und b liege die Batterie, und an b und c die Abzweigung mit der Magnetisierungsspirale. Stösst e auf d, so ist die Abzweigung stromlos. Beim Emporziehen von e wächst dann die Stromstärke in der Abzweigung bis zu einem Maximum. Bei beiden Schaltungen sind die Klemmen a und b gleichwertig, wenn zugleich die Bewegungsrichtung von e vertauscht wird.

### Versuchsanordnung.

Das Schema der Versuchsanordnung enthält Fig. 10. Es ist hier A die Stromquelle, B der Bügelrheostat, C ein Schieberheostat, C ein Kommutator, D das Präzisionsamperemeter von Siemens & Halske, F die Magnetisierungsspule, G die Kompensationsspule für den Strom in F und $M_1$ das Magnetometer. Hierzu tritt der Stromkreis zur Kompensation der Vertikalkomponente des Erdmagnetismus: H die Batterie, K ein Schieberheostat, J ein Amperemeter, L ein Kommutator, P die Rolle zur Kompensation der Vertikalkomponente und O die Spule zur Kompensation des durch P fliessenden Stromes.

Bei der stetigen Magnetisierung ist statt des Bügelrheostaten der Flüssigkeitswiderstand derart eingeschaltet, dass von ihm der Strom für die Magnetisierungsspirale abgezweigt wird. Durch geeignete Schaltung erhielt ich

1) Der Zuleitungsdrähte, der Magnetisierungsspirale und des Strommessers.

übrigens auch bei der stufenweisen Magnetisierung trotz des hier verhältnismässig hohen Widerstandes des übrigen Stromkreises annähernd gleiche Stufen.

Das verwendete Magnetometer $M_1$ mit Magnetisierungsspirale gleicht in seiner Einrichtung dem von Ewing [1]) beschriebenen; nur besitzt es ausser der Kompensationsspule für den magnetisierenden Strom noch eine Kompensationsspule für den zur Kompensation der Vertikalkomponente angewendeten Strom. Zur sicheren Reduktion der Magnetometerausschläge auf die Ruhelage wurde noch das Vergleichsmagnetometer $M_2$ (Fig. 10) benutzt, das denselben Skalenabstand wie das erste hatte. $N_1$ und $N_2$ deuten die zur Beobachtung dienenden Fernrohre an.

### Formeln zur Berechnung von $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{B}$.

Die Feldstärke $\mathfrak{H}$ ist gegeben durch

$$\mathfrak{H} = 0{,}4\ \pi\ n\ i_{amp.}$$

und $\mathfrak{B}$ durch $\qquad \mathfrak{B} = 4\pi\ J + \mathfrak{H}.$

Der Wert für J ergibt sich [2]) durch folgende Betrachtung.

Auf den Magneten des Magnetometers wirkt als Richtkraft die Horizontalkomponente H des Erdmagnetismus. Die magnetische Kraft K des zu untersuchenden magnetisierten Körpers wirkt senkrecht zur Richtung von H. Der Magnet werde dadurch um den Winkel $\vartheta$ abgelenkt; dann ist:

$$K = H \cdot \operatorname{tg} \vartheta.$$

Der Stab habe den Querschnitt q und die Länge l. Der Abstand des oberen mit dem Magneten in gleicher Höhe befindlichen Poles von der Drehachse des Magneten sei r und der des anderen Poles vom Magneten r'. Die ablenkende Kraft K ist sodann:

$$\frac{q\,J}{r^2} - \frac{q\,J}{r'^2} \cdot \frac{r}{r'} = \frac{q\,J}{r^2}\left\{1 - \left(\frac{r}{r'}\right)^3\right\}$$

1) l. c.

2) Nach Ewing l. c.

und infolge der obigen Gleichung also:

$$\frac{q\,J}{r^2}\left\{1-\left(\frac{r}{r'}\right)^3\right\}=H\cdot\operatorname{tg}\vartheta.$$

$$J=\frac{r^2\cdot H\cdot\operatorname{tg}\vartheta}{q\left\{1-\left(\frac{r}{r'}\right)^3\right\}}.$$

Nun sei A der Skalenabstand und $\delta$ der Ausschlag; dann gilt auch für grössere Ausschläge:

$$\operatorname{tg}\vartheta=\frac{\delta}{2A}\left\{1-4\frac{\delta^2}{A^2}\right\}=\frac{\delta}{8A^3}(2A+\delta)(2A-\delta).$$

Demnach ist:

$$J=\frac{r^2\cdot\delta\cdot H\cdot(2A+\delta)(2A-\delta)}{8A^3\cdot q\left\{1-\left(\frac{r}{r'}\right)^3\right\}}.$$

**Versuche mit Blumendraht.**

Die Versuchsanordnung ist hier im allgemeinen so wie in Fig. 10. Es wurde nur als Strommesser im magnetisierenden Stromkreise statt des Amperemeters von Siemens & Halske das schon bei den ballistischen Versuchen verwendete Pyrometer im Nebenschluss benützt, und ausserdem auch der Strom für diesen Kreis durch Abzweigung erhalten. Der Gang der Ausführung der Beobachtungen[1]) sei durch folgende Punkte gekennzeichnet:

1. Kompensation der Vertikalkomponente und der Wirkung des hierzu nötigen Stromes auf das Magnetometer. 2. Kompensieren der Wirkung des magnetisierenden Stromes auf das Magnetometer. 3. Einstellung auf das Maximum der Ablenkung. 4. Entmagnetisieren. 5. Eigentlicher Ver-

1) Sie erfolgten stets nachts zwischen 12 und 6 Uhr, da während dieser Zeit der störende Verkehr der elektrischen Strassenbahn ruht.

such. 6. Prüfung, ob die Bedingungen 1 bis 3 noch erfüllt sind.

Die Daten sind:

Länge der Magnetisierungsspule 40 cm und Zahl ihrer Windungen 1600; also n = 40.

$r = 7$ cm
$\mathfrak{H} = 0{,}193$
$A = 2142$ Skalenteile
$q = 0{,}002048$ qcm
$r' = 30{,}80$ cm.

Ich lasse wieder nur die zusammenfassenden Tabellen für diese Versuche folgen. Von einer Zeichnung der $\mathfrak{H}$-$\mathfrak{B}$-Kurven habe ich abgesehen, da deren Gestalt im wesentlichen dieselbe ist wie die der entsprechenden Kurven bei den Drahtringen (Fig. 25 u. 30).

Tabelle 24. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 7,4.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (−) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| unendlich = stetig. | 7,429 | 4846 | 385,1 | 652,3 | 51,84 | — 1,4 |
| 15 | 7,432 | 4916 | 390,7 | 661,5 | 52,56 | — 0,0 |
| 7 | 7,434 | 4925 | 391,4 | 662,5 | 52,65 | + 0,2 |
| 4 | 7,432 | 4920 | 391,0 | 662,0 | 52,62 | + 0,1 |
| 2 | 7,432 | 4916 | 390,7 | 661,5 | 52,56 | + 0,0 |
| 1 | 7,432 | 4916 | 390,7 | 661,5 | 52,56 | |

Diese Ergebnisse werde ich gleichzeitig mit denen erörtern, die sich aus den Beobachtungen mit dem Stahldrahtbündel ergeben werden.

### Versuche mit Stahldraht.

Die Versuchsanordnung ist in Fig. 10 schematisch dargestellt und bereits besprochen. Über die Ausführung

der Versuche gilt das beim Blumendraht Gesagte. Die Daten sind hier: $r = 8$ cm
$\mathfrak{H} = 0{,}193$
$A = 2233$ Skalenteile
$q = 0{,}00179$ qcm
$r' = 31{,}05$ cm.

Tabelle 25. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 19,1.

| Stufenzahl | $\mathfrak{H}_{max}$ | $\mathfrak{B}_{max}$ | J | $\mu$ | $\varkappa$ | % um die $\mathfrak{B}_{max}$ grösser (+) kleiner (−) ist als $\mathfrak{B}_{max_1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| unendlich = stetig. | 19,10 | 8201 | 651,1 | 429,4 | 34,09 | — 1,4 |
| 15 | 19,10 | 8247 | 654,8 | 431,8 | 34,28 | — 0,8 |
| 7 | 19,10 | 8260 | 655,8 | 432,5 | 34,33 | — 0,7 |
| 4 | 19,10 | 8272 | 656,8 | 433,1 | 34,39 | — 0,5 |
| 2 | 19,10 | 8297 | 658,8 | 434,4 | 34,49 | — 0,2 |
| 1 | 19,10 | 8316 | 660,3 | 435,4 | 34,57 | |

Resultat: Eine Abhängigkeit des magnetischen Zustandes von der Stufenzahl ist nach diesen Tabellen auch bei der unipolaren Methode vorhanden. Jedoch beträgt der grösste Unterschied in der Maximalinduktion nur 1,4% (gegen ca. 10% bei den Drahtringen). Diese bedeutende Abweichung mag vielleicht zum Teil durch die geringe Dicke der Drahtbündel bedingt sein. Das Ergebnis bestätigt trotzdem den von Fromme [1]) gefundenen und von Holitscher [2]) bestrittenen Einfluss der Grösse der Stufen bei der Magnetisierung von Stäben.

Eine Abnahme der Remanenz und der Koerzitivkraft mit abnehmender Stufenzahl ist bei diesen Versuchen nicht eingetreten, wie es bei den verhältnismässig geringen Feldstärken auch nach der Arbeit von Gumlich und Schmidt [3]) nicht anders zu erwarten war.

1) C. Fromme. Magnetische Experimentaluntersuchungen. Wied. Ann. Bd. 43. 1891. pag. 256.

2) P. Holitscher. Experimentelle Untersuchungen über den remanenten Magnetismus des Eisens. Drud. Ann. Bd. 3. 1900. pag. 698.

3) l. c.

## Untersuchungen über die magnetische Nachwirkung.

Ehe ich die Hauptversuche nach der ballistischen Methode begann, stellte ich einige Vorversuche mit dem Eisenringe an. Ich hatte hierbei dem Galvanometer eine Schwingungsdauer von nur 6,5 sec gegeben in der Absicht, so ein schnelleres Arbeiten zu ermöglichen. Als ich aber den Ring zyklischen Magnetisierungsprozessen, ähnlich wie später bei Serie 1, unterwarf, bemerkte ich, dass das Dämpfungsverhältnis erst nach 1 bis 2 Schwingungen konstant wurde, während es bei Schwingungen, die durch den Magnetinduktor bewirkt wurden, sofort konstant war. Ein aperiodisches Galvanometer im Primärkreise zeigte an, dass bei einer Änderung des magnetisierenden Stromes dieser seinen Endwert nach Beendigung der Elongation — die hierzu nötige Zeit betrug 3,5 sec — angenommen hatte. Da also hier der Grund der Erscheinung nicht liegen konnte, so wurde nachgesehen, ob etwa das Galvanometer im Sekundärkreise noch einen Ausschlag gab, wenn dieser ca. 1 sec nach der Änderung des magnetisierenden Stromes geschlossen wurde. Es zeigte sich in der Tat ein Ausschlag von mehreren Skalenteilen. Ich hatte es also ohne Zweifel mit magnetischer Nachwirkung, auch Viskosität oder magnetische Verzögerung genannt, zu tun.

Den nachteiligen Einfluss, den diese auf die Messungen mit dem ballistischen Galvanometer ausübte, suchte ich durch Verlängerung der Schwingungsdauer (13,1 sec) zu beseitigen. Das Dämpfungsverhältnis wurde so ziemlich konstant. Ich nahm nun an, dass die infolge der Viskosität noch vorhandene Ungenauigkeit gering und daher zu vernachlässigen sei. In dieser Ansicht wurde ich durch die herrschende Auffassung bestärkt, dass die magnetische Nachwirkung nur bei weichem Material, bei kleinen Kräften und bei dicken Versuchsstücken von Belang ist, also bei Bedingungen, wie sie nur teilweise bei meinen Versuchen vorhanden sind. Beträgt doch z. B. die Dicke der Ringe

nur ca. 0,6 cm. Mit der gewählten Schwingungsdauer führte ich sämtliche Beobachtungen an den Ringen aus.

Als aber die Ergebnisse, zu denen die Untersuchungen nach der unipolaren Methode führten, nicht den grossen Einfluss der Stufenzahl zu erklären vermochten, den ich bei demselben Material und ungefähr gleicher Maximalinduktion nach der ballistischen Methode erhielt, schien es geboten, die damals beobachtete Wirkung der Viskosität auf das ballistische Galvanometer nunmehr weiter zu verfolgen und festzustellen, ob die Unterschiede in der Maximalinduktion eine Folge der magnetischen Nachwirkung sein können oder nicht. Als eine solche erklären nämlich Lehmann und M. Wien ihre eingangs erwähnten Beobachtungen.

### Zur Versuchsausführung.

Es lag nahe, diese Versuche zunächst in den Feldern anzustellen, in denen eine Abhängigkeit von der Stufenzahl sich merklich zeigte. Die Versuchsanordnung blieb hierbei bei den einzelnen Ringen und Serien dieselbe wie bei den entsprechenden Versuchen nach der ballistischen Methode. Es wurde nur in den Sekundärkreis eine Wippe geschaltet, die es ermöglichte, diesen in beliebiger Zeit nach der Änderung des magnetisierenden Stromes zu schliessen. In Fig. 13 sind die sechs Näpfe der Wippe gezeichnet. 1 und 2 sind mit der Sekundärspule R des Ringes, 5 und 6 mit dem übrigen Sekundärkreise und 3 und 4 mit einem der Sekundärspule äquivalenten Widerstande $R_1$ verbunden. Durch einfaches Umlegen der Wippe ist also entweder der Ring oder der äquivalente Widerstand $R_1$ in den Sekundärkreis geschaltet. Das Umlegen der Wippe erfolgte mittels einer ungefähr $^3/_4$ m langen Holzschiene, die vorn einen $\vdash$ förmigen Haken besass. Es geschah schnell und sicher nach dem Schlage eines Halbsekundenpendels. Da die Thermoströme bei diesen Versuchen genau berücksichtigt werden müssen, so suchte ich sie nach Möglichkeit zu be-

seitigen. Die Heizung wurde abgestellt und zur Skalenbeleuchtung Kerzen verwendet. Die Rheostaten und die Klemmen im Sekundärkreise waren wie früher sorgfältig mit Watte bedeckt.

Bei der Ausführung der Versuche verfuhr ich folgendermassen. Ich notierte:

| auf dem Wege (Fig. 12) | die Ausschläge | die erfolgten, wenn der Ring in den Sekundärkreis geschaltet wurde nach: |
|---|---|---|
| O A C B D A | nicht | |
| A C B | | 0 sec (dies entspricht dem gewöhnlich beobachteten Ausschlage) |
| B D A | nicht | |
| A C B | | 1 sec |
| B D A | nicht | |
| A C B | | 2 sec |
| u. s. w. | | |

So konnte ich die an den einzelnen Stellen des Kreisprozesses nach verschiedenen Zeiten entstehenden Ausschläge bequem miteinander vergleichen und, wie dies später gezeigt werden wird, auch den Einfluss der Nachwirkung abschätzen. Der Ausschlag, der infolge der Thermoströme bei blossem Umlegen der Wippe entsteht, wurde meist vor jeder Ablesung bestimmt und bei dieser berücksichtigt. Die Wirkung der Thermoströme war zudem in engeren Zeitgrenzen ziemlich konstant. Sie gab daher zu erheblichen Fehlern keinen Anlass. Kleinere Mängel, die dieser immerhin etwas rohen Methode zur Bestimmung der magnetischen Nachwirkung etwa noch anhaften, sind nicht von Belang, da nur eine Schätzung der Wirkung der Viskosität erstrebt wird. Wie früher, wurden auch hier die Ringe vor jedem Versuche entmagnetisiert.

Ich gebe in den folgenden Tabellen[1]) die Beobachtungsdaten für die einzelnen Ringe wieder, also die Ausschläge in Skalenteilen.

### Versuche mit dem Ringe aus weichem Eisen.

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 1,3.** Stufenzahl: 24.
Tab. 26 (Anfang).

| Stufe | 0 sec[2]) | 1 sec | 2 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 11,4 | 3,4 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 0,4 | 0,0 |
| 22 | 13,1 | 3,5 | 1,6 | 1,7 | 0,7 | 0,5 | 0,0 |
| 21 | 14,3 | 3,1 | 1,9 | 2,1 | 1,0 | 0,7 | 0,3 |
| 20 | 15,7 | 2,9 | 2,0 | 1,8 | 1,1 | 0,8 | 0,4 |
| 19 | 16,6 | 3,8 | 2,3 | 2,2 | 1,4 | 1,0 | 0,4 |
| 18 | 17,5 | 4,1 | 3,0 | 2,2 | 1,5 | 1,1 | 0,6 |
| 17 | 18,4 | 4,1 | 3,0 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 0,7 |
| 16 | 19,2 | 4,3 | 3,1 | 2,6 | 1,8 | 1,5 | 0,8 |
| 15 | 20,3 | 4,8 | 3,3 | 2,8 | 2,0 | 1,6 | 0,7 |
| 14 | 21,2 | 5,0 | 3,5 | 2,9 | 2,0 | 1,4 | 0,7 |
| 13 | 22,9 | 5,3 | 3,8 | 3,0 | 2,0 | 1,5 | 0,9 |
| 12 | 23,6 | 5,5 | 4,1 | 2,9 | 2,2 | 1,6 | 0,9 |
| 11 | 24,8 | 5,6 | 4,1 | 3,0 | 2,2 | 1,7 | 0,9 |
| 10 | 26,3 | 6,4 | 4,6 | 3,3 | 2,4 | 1,7 | 1,0 |
| 9 | 27,5 | 5,3 | 4,5 | 3,7 | 2,7 | 1,7 | 0,9 |
| 8 | 29,3 | 6,6 | 4,7 | 4,0 | 2,8 | 1,9 | 1,1 |
| 7 | 31,0 | 7,4 | 5,1 | 4,1 | 3,0 | 2,1 | 1,0 |
| 6 | 32,8 | 7,5 | 5,4 | 3,9 | 3,1 | 2,3 | 1,1 |
| 5 | 35,0 | 7,4 | 5,5 | 4,3 | 3,3 | 2,2 | 1,1 |
| 4 | 37,5 | 7,8 | 5,7 | 4,3 | 3,1 | 2,2 | 1,4 |
| 3 | 40,2 | 8,3 | 6,5 | 5,1 | 3,3 | 2,2 | 1,5 |
| 2 | 43,1 | 8,7 | 6,6 | 4,9 | 3,3 | 2,6 | 1,7 |
| 1 | 46,1 | 9,6 | 6,6 | 5,3 | 3,5 | 2,9 | 1,8 |

1) Die in den Tabellen angegebenen Zeiten beziehen sich auf das spätere Schliessen des Sekundärkreises (vergl. pag. 76).

2) Die unter dieser Rubrik angegebenen Ausschläge sind bei dieser Tabelle und ebenso bei den folgenden in der auf pag. 76 angegebenen Weise beobachtet worden und nicht früheren Beobachtungen entnommen.

Tab. 26 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 2 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 50,8 | 9,4 | 7,3 | 5,9 | 3,9 | 3,2 | 1,8 |
| | Kommutation der Stromrichtung | | | | | | |
| 1 | 54,1 | 10,2 | 7,8 | 6,1 | 4,6 | 3,3 | 2,1 |
| 2 | 55,3 | 11,5 | 8,7 | 6,4 | 4,9 | 3,3 | 2,5 |
| 3 | 58,5 | 11,7 | 8,6 | 7,0 | 4,9 | 3,7 | 2,2 |
| 4 | 61,1 | 11,9 | 8,5 | 7,4 | 5,5 | 3,9 | 2,4 |
| 5 | 65,3 | 11,8 | 9,6 | 7,8 | 5,7 | 4,1 | 2,4 |
| 6 | 69,9 | 13,9 | 10,0 | 7,6 | 5,8 | 4,5 | 2,0 |
| 7 | 73,4 | 14,7 | 10,3 | 8,4 | 6,3 | 5,0 | 2,6 |
| 8 | 78,8 | 14,9 | 12,0 | 9,1 | 6,8 | 5,3 | 2,8 |
| 9 | 87,6 | 15,5 | 12,5 | 9,6 | 7,1 | 5,4 | 3,1 |
| 10 | 95,9 | 15,3 | 12,8 | 10,7 | 7,7 | 6,2 | 3,7 |
| 11 | 109,8 | 16,8 | 13,6 | 11,3 | 8,0 | 6,8 | 4,2 |
| 12 | 120,1 | 17,7 | 14,3 | 12,2 | 9,1 | 6,4 | 4,2 |
| 13 | 137,0 | 20,2 | 15,0 | 12,6 | 9,8 | 7,3 | 4,8 |
| 14 | 152,7 | 20,1 | 14.6 | 12,9 | 9,8 | 7,0 | 4,7 |
| 15 | 162,1 | 20,3 | 15,2 | 13,3 | 9,4 | 7,8 | 2,5 (nach 30 sec) |
| 16 | 158,8 | 20,8 | 14,7 | 12,7 | 9,5 | 8,0 | 4,8 |
| 17 | 147,5 | 20,7 | 15,5 | 12,8 | 9,7 | 7,5 | 4,5 |
| 18 | 131,3 | 19,3 | 14,9 | 12,5 | 9,6 | 7,0 | 4,2 |
| 19 | 116,8 | 19,2 | 13,6 | 12,2 | 9,4 | 6,8 | 4,4 |
| 20 | 102,9 | 20,0 | 14,6 | 12,1 | 9,2 | 6,1 | 4,3 |
| 21 | 91,3 | 18,2 | 13,7 | 11,6 | 8,4 | 6,3 | 4,8 |
| 22 | 81,5 | 17,9 | 13,8 | 10.8 | 8,3 | 6,4 | 4,1 |
| 23 | 74,1 | 15,6 | 12,6 | 9,6 | 8,4 | 5,9 | 3,5 |
| 24 | 68,8 | 15,4 | 13,3 | 10,6 | 8,4 | 6,4 | 4,7 |

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 1,3.** Stufenzahl 6.

Tab. 27 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 2 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 63,9 | 4,3 | 3,1 | 2,4 | 2,0 | 1,4 | 0,4 |
| 4 | 88,4 | 4,6 | 3,8 | 2,8 | 2,3 | 1,6 | 0,4 |
| 3 | 109,8 | 5,4 | 4,2 | 3,2 | 2,6 | 1,4 | 0,6 |

Tab. 27 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 2 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 136,3 | 6,0 | 4,8 | 3,5 | 2,9 | 1,7 | 0,7 |
| 1 | 173,1 | 7,3 | 5,1 | 4,2 | 3,3 | 1,8 | 1,1 |
| unterbrochen = 0 | 220,5 | 7,5 | 5,9 | 5,2 | 3,9 | 2,3 | 1,1 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | | | |
| 1 | 285,6[1]) | 9,0 | 7,0 | 6,0 | 4,6 | 3,5 | 1,8 |
| 2 | 364,8 | 10,8 | 8,2 | 7,4 | 5,8 | 4,3 | 2,4 |
| 3 | 562,2 | 11,7 | 10,0 | 8,4 | 7,1 | 5,5 | 3,6 |
| 4 | 800,6 | 14,6 | 9,9 | 8,7 | 7,3 | 5,9 | 3,8 |
| 5 | 702,5 | 11,8 | 8,7 | 7,8 | 6,4 | 5,1 | 2,9 |
| 6 | 480,1 | 11,7 | 9,3 | 7,5 | 6,2 | 4,9 | 2,5 |

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 1,3.** Stufenzahl 1.
Tab. 28.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 2 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 794,7 | 5,4 | 4,9 | 3,9 | 2,9 | 2,3 | 1,6 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | | | |
| 1 | 3140,0 | 7,7 | 5,6 | 4,8 | 3,8 | 3,1 | 2,0 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 54,0.** Stufenzahl 24.[2])
Tab. 29 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec |
|---|---|---|---|---|
| 23 | 28,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | 32,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 16 | 39,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

1) Die Ausschläge über 250 Skalenteile wurden erhalten durch Reduktion der bei herabgesetzter Empfindlichkeit beobachteten Ausschläge auf solche bei unverminderter Empfindlichkeit (vergl. pag. 17 ff).

2) Die Beobachtungen erstreckten sich nur auf die angegebenen Stufen.

Tab. 29 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 53,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| 8 | 84,2 | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| 4 | 216,9 | 1,8 | 1,1 | 0,8 |
| unterbrochen = 0 | 2484,0 | 4,1 | 3,7 | 3,0 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 2 | 2265,0 | 2,6 | 1,9 | 1,1 |
| 4 | 635,6 | 2,1 | 1,0 | 1,0 |
| 8 | 169,3 | 0,9 | 0,9 | 0,3 |
| 12 | 84,3 | 0,7 | 0,6 | 0,1 |
| 16 | 55,8 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 20 | 41,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 24 | 33,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 54,0.** Stufenzahl 6.
Tab. 30.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 118,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 147,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | 200,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 279,3 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 1 | 591,6 | 1,1 | 0,7 | 0,6 |
| unterbrochen = 0 | 4342,0 | 3,6 | 2,9 | 2,3 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 13315,0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| 2 | 1076,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| 3 | 429,8 | 0,3 | 0,2 | 0,0 |
| 4 | 258,4 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| 5 | 196,3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| 6 | 144,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 54,0.** Stufenzahl 1.

Tab. 31.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec |
|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 5664,0 | 4,0 | 2,8 | 2,4 |
| | Kommutation der Stromrichtung | | | |
| 1 | 15402,0 | — 1,3 | — 1,0 | — 1,0 |

Nach diesen Tabellen nimmt die magnetische Nachwirkung mit der Zahl der Stufen relativ und absolut genommen ab; sie ist bei Serie 1 Stufenzahl 24 am grössten. Eine ausführlichere Erörterung der Beobachtungen erfolgt später gemeinschaftlich mit der der übrigen Ringe.

**Versuche mit dem Ringe aus gehärtetem Wolframstahl.**

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 11,0.** Stufenzahl 24.

Tab. 32.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | Stufe | 0 sec | 1 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 11,0 | 0,0 | | | |
| 20 | 11,5 | 0,0 | Kommutation der Stromrichtung. | | |
| 16 | 11,2 | 0,0 | 4 | 15,1 | 0,1 |
| 12 | 12,1 | 0,0 | 8 | 14,2 | 0,1 |
| 8 | 13,3 | 0,1 | 12 | 13,2 | 0,0 |
| 4 | 14,5 | 0,1 | 16 | 12,5 | 0,1 |
| unterbrochen | | | 20 | 11,9 | 0,1 |
| = 0 | 15,8 | 0,0 | 24 | 11,0 | 0,1 |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 11,0.** Stufenzahl 6. Tab. 33.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | Stufe | 0 sec | 1 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 41,2 | 0,0 | Kommutation der Stromrichtung | | |
| 4 | 44,1 | 0,2 | 1 | 63,5 | 0,4 |
| 3 | 47,8 | 0,1 | 2 | 59,8 | 0,4 |
| 2 | 51,8 | 0,1 | 3 | 56,7 | 0,3 |
| 1 | 56,7 | 0,1 | 4 | 53,4 | 0,3 |
| unterbrochen | | | 5 | 50,7 | 0,4 |
| = 0 | 62,1 | 0,3 | 6 | 48,0 | 0,3 |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 11,0.** Stufenzahl 1. Tab. 34.

| Stufe | 0 sec | 1 sec |
|---|---|---|
| unterbrochen | | |
| = 0 | 297 5 | 0,3 |
| Kommutation der Stromrichtung. | | |
| 1 | 328,4 | 0,5 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca 55,0.** Stufenzahl 24. Tab. 35 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 43,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | 47,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 16 | 53,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| 12 | 61,7 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| 8 | 72,0 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| 4 | 87,2 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |
| unterbrochen | | | | | |
| = 0 | 110,1 | 2,1 | 1,0 | 0,8 | 0,5 |
| Kommutation der Stromrichtung. | | | | | |
| 4 | 123,0 | 2,5 | 1,5 | 1,2 | 0,7 |
| 8 | 138,8 | 3,8 | 2,6 | 1,7 | 0,9 |

Tab. 35 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 161,6 | 5,2 | 3,1 | 2,2 | 1,6 |
| 16 | 184,1 | 6,7 | 4,3 | 3,1 | 2,0 |
| 20 | 187,9 | 7,5 | 4,8 | 3,3 | 2,4 |
| 24 | 179,7 | 8,5 | 4,5 | 3,5 | 2,4 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 55,0.** Stufenzahl 6.
Tab. 36.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 184,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 208,6 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| 3 | 233,8 | 1,0 | 0,6 | 0,2 | 0,1 |
| 2 | 275,6 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,5 |
| 1 | 331,4 | 1,9 | 1,2 | 1,0 | 0,7 |
| unterbrochen = 0 | 411,9 | 2,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 491,4 | 3,5 | 2,2 | 1,6 | 1,3 |
| 2 | 559,0 | 4,5 | 2,8 | 2,3 | 1,4 |
| 3 | 655,7 | 6,0 | 3,9 | 2,9 | 1,8 |
| 4 | 785,0 | 7,2 | 4,4 | 3,8 | 2,6 |
| 5 | 896,4 | 9,0 | 5,0 | 4,0 | 2,7 |
| 6 | 932,7 | 10,6 | 6,9 | 4,5 | 3,2 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 55,0.** Stufenzahl 1.
Tab. 37.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 1646,0 | 3,2 | 2,2 | 1,6 | 1,2 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 4077,0 | 5,3 | 3,2 | 1,9 | 1,1 |

Die Viskosität tritt hier bei Serie 3 mehr auf als bei Serie 2; sie nimmt ebenfalls mit zunehmender Grösse der Stufen ab.

## Versuche mit dem Ringe aus Blumendraht.

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 2,0.** Stufenzahl 24. Tab. 38.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | |
|---|---|---|---|---|
| 23 | 5,3 | 0,1 | 0,0 | |
| 20 | 6,0 | 0,1 | 0,0 | |
| 16 | 7,2 | 0,1 | 0,0 | |
| 12 | 9,0 | 0,1 | 0,1 | |
| 8 | 10,9 | 0,2 | 0,2 | |
| 4 | 13,8 | 0,2 | 0,2 | |
| unterbrochen = 0 | 17,2 | 0,3 | 0,2 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 4 | 18,7 | 0,4 | 0,2 | |
| 8 | 19,7 | 0,5 | 0,2 | |
| 12 | 20,8 | 0,7 | 0,3 | 0,2 (nach 5 sec) |
| 16 | 21,7 | 0,8 | 0,3 | 0,2 (nach 8 sec) |
| 20 | 22,2 | 0,8 | 0,3 | 0,1 (nach 15sec) |
| 24 | 20,8 | 0,7 | 0,3 | |

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 2,0.** Stufenzahl 6. Tab. 39.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 21,4 | 0,0 | 0,0 | |
| 4 | 26,8 | 0,1 | 0,0 | |
| 3 | 32,9 | 0,1 | 0,0 | |
| 2 | 40,6 | 0,3 | 0,1 | |
| 1 | 50,8 | 0,3 | 0,1 | |
| unterbrochen = 0 | 64,0 | 0,5 | 0,2 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 74,2 | 0,4 | 0,2 | |
| 2 | 78,3 | 0,6 | 0,3 | |
| 3 | 82,4 | 0,6 | 0,4 | 0,2 (nach 8 sec) |
| 4 | 85,8 | 0,6 | 0,4 | 0,0 (nach 15sec) |
| 5 | 86,5 | 0,9 | 0,5 | |
| 6 | 80,5 | 0,9 | 0,4 | |

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 2,0.** Stufenzahl 1. Tab. 40.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec |
|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 232,3 | 0,6 | 0,5 |
| Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 477,5 | 1,0 | 0,6 |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 4,5.** Stufenzahl 24. Tab. 41.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 10,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 20 | 14,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 16 | 18,8 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | | |
| 12 | 25,0 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | |
| 8 | 33,6 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | | |
| 4 | 46,0 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | | |
| unterbrochen = 0 | 66,6 | 0,9 | 0,5 | 0,2 | | |
| Kommutation der Stromrichtung. | | | | | | |
| 4 | 89,5 | 1,5 | 1,1 | 0,8 | | |
| 8 | 133,8 | 2,5 | 1,5 | 1,1 | 0,5 | 0,3 (nach 8 sec) |
| 12 | 295,1 | 4,8 | 2,9 | 2,0 | 1,1 | 0,3 (nach 30sec) |
| 16 | 297,1 | 4,8 | 2,9 | 2,1 | 1,4 | 0,1 (nach 60sec) |
| 20 | 170,9 | 3,8 | 2,3 | 1,5 | 1,0 | 0,6 (nach 8 sec) |
| 24 | 124,0 | 2,8 | 2,0 | 1,3 | | |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 4,5.** Stufenzahl 6. Tab. 42 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 49,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 4 | 68,9 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| 3 | 92,5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| 2 | 124,1 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | |
| 1 | 169,5 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | |

Tab. 42 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 239,3 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | | |
| 1 | 329,0 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | | |
| 2 | 469,6 | 2,0 | 1,4 | 0,9 | 0,7 | |
| 3 | 898,3 | 4,0 | 2,5 | 1,9 | 1,6 | 0,9 (nach 15sec) |
| 4 | 1379,8 | 2,9 | 2,4 | 1,6 | 1,3 | 0,2 (nach 30sec) |
| 5 | 847,4 | 2,4 | 1,8 | 1,2 | 0,8 | |
| 6 | 537,4 | 2,3 | 1,5 | 1,1 | | |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 4,5.** Stufenzahl 1.
Tab. 43.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec |
|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 702,5 | 0,8 | 0,6 | 0,4 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 4160,0 | 2,2 | 1,4 | 0,7 |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 10,2.** Stufenzahl 24.
Tab. 44.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 18,4 | 0,0 | 0,0 | | |
| 20 | 25,3 | 0,2 | 0,1 | | |
| 16 | 36,6 | 0,3 | 0,2 | | |
| 12 | 51,1 | 0,4 | 0,2 | | |
| 8 | 73,9 | 0,6 | 0,3 | | |
| 4 | 113,8 | 1,3 | 0,6 | | |
| unterbrochen = 0 | 186,0 | 1,6 | 1,1 | | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 4 | 327,4 | 3,2 | 1,9 | 1,3 | 1,0 (nach 8 sec) |
| 8 | 1271,5 | 7,2 | 4,4 | 3,7 | 0,6 (nach 30 sec) |
| 12 | 407,0 | 4,1 | 2,4 | 1,7 | 0,8 (nach 15 sec) |
| 16 | 220,0 | 2,6 | 1,5 | 1,3 | 0,9 (nach 8 sec) |
| 20 | 159,0 | 2,2 | 1,2 | | |
| 24 | 129,0 | 2,2 | 1,2 | | |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 10,2.** Stufenzahl 6.
Tab. 45.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 88,7 | 0,0 | 0,0 | | |
| 4 | 130,2 | 0,2 | 0,2 | | |
| 3 | 184,5 | 0,2 | 0,2 | | |
| 2 | 257,2 | 0,5 | 0,4 | | |
| 1 | 386,8 | 0,9 | 0,7 | | |
| unterbrochen = 0 | 625,1 | 1,3 | 1,0 | | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 1074,7 | 2,3 | 1,6 | 1,2 | 0,8 (nach 8 sec) |
| 2 | 3712,0 | 5,7 | 3,3 | 2,5 | 0,8 (nach 30 sec) |
| 3 | 2523,0 | 3,0 | 1,7 | 1,5 | 0,5 (nach 15 sec) |
| 4 | 1095,7 | 2,3 | 1,1 | 0,9 | 0,7 (nach 8 sec) |
| 5 | 713,8 | 1,6 | 1,1 | | |
| 6 | 552,3 | 1,5 | 1,0 | | |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 10,2.** Stufenzahl 1.
Tab. 46.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec |
|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 1754,0 | 1,2 | 0,8 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | |
| 1 | 10348,0 | 0,0 | 0,0 |

Auch hier wird die magnetische Nachwirkung bei wachsender Grösse der Stufen geringer. Sie ist bei Serie 5 am grössten. Die relativen Werte sind zwar bei Serie 1 höher; jedoch ist der zeitliche Verlauf der Verzögerung viel schneller als bei Serie 5. Serie 2 weist auch eine lange Zeitdauer der Nachwirkung auf; es sind aber die relativen Werte erheblich kleiner als bei Serie 5.

**Versuche mit dem Ringe aus hartem Stahldraht.**

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 9,4.** Stufenzahl 24. Tab. 47.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | |
|---|---|---|---|---|
| 23 | 10,1 | 0,1 | 0,0 | |
| 20 | 10,9 | 0,0 | 0,0 | |
| 16 | 12,1 | 0,2 | 0,0 | |
| 12 | 13,8 | 0,2 | 0,0 | |
| 8 | 16,0 | 0,2 | 0,1 | |
| 4 | 18,8 | 0,3 | 0,2 | |
| unterbrochen = 0 | 22,5 | 0,4 | 0,2 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 4 | 24,1 | 0,5 | 0,3 | |
| 8 | 25,2 | 0,7 | 0,5 | |
| 12 | 26,7 | 0,9 | 0,7 | |
| 16 | 27,9 | 0,9 | 0,7 | 0,4 (nach 5 sec) |
| 20 | 27,7 | 1,2 | 0,7 | 0,3 (nach 8 sec) |
| 24 | 27,0 | 1,1 | 0,7 | |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 9,4.** Stufenzahl 6. Tab. 48.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 41,7 | 0,0 | 0,0 | |
| 4 | 46,7 | 0,0 | 0,0 | |
| 3 | 53,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 2 | 61,1 | 0,0 | 0,0 | |
| 1 | 72,0 | 0,3 | 0,2 | |
| unterbrochen = 0 | 86,2 | 0,4 | 0,3 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 97,8 | 0,6 | 0,4 | |
| 2 | 102,9 | 0,7 | 0,5 | |
| 3 | 108,9 | 1,1 | 0,6 | |
| 4 | 113,7 | 1,2 | 0,8 | |
| 5 | 117,5 | 1,3 | 1,0 | 0,4 (nach 8 sec) |
| 6 | 118,7 | 1,5 | 0,9 | 0,6 (nach 5 sec) |

Entsprechend **Serie 2.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 9,4.** Stufenzahl 1. Tab. 49.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec |
|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 355,2 | 0,0 | 0,0 |
| Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 644,7 | 2,1 | 0,8 |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 18,8.** Stufenzahl 24. Tab. 50.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 17,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 20 | 20,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |
| 16 | 24,3 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | | |
| 12 | 29,9 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | | |
| 8 | 38,0 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | | |
| 4 | 49,3 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | | |
| unterbrochen = 0 | 70,7 | 1,4 | 1,1 | 0,7 | | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | | |
| 4 | 90,5 | 2,1 | 1,4 | 0,5 | | |
| 8 | 130,3 | 5,1 | 2,1 | 1,2 | | |
| 12 | 199,0 | 6,9 | 4,1 | 2,7 | 2,1 | 1,1 (nach 15 sec) |
| 16 | 616,8 | 20,0 | 10,7 | 8,0 | 5,7 | 1,8 (nach 30 sec) |
| 20 | 742,1 | 20,0 | 11,7 | 8,1 | 6,2 | 0,6 (nach 60 sec) |
| 24 | 311,5 | 12,2 | 6,7 | 4,8 | 3,4 | 2,1 (nach 15 sec) |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 18,8.** Stufenzahl 6. Tab. 51 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 73,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| 4 | 89,6 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | |
| 3 | 111,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | |
| 2 | 140,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| 1 | 184,1 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | |

Tab. 51 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 252,7 | 1,4 | 0,6 | 0,5 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 347,3 | 1,5 | 1,1 | 0,8 | |
| 2 | 489,5 | 2,9 | 1,8 | 1,4 | |
| 3 | 736,2 | 5,9 | 3,4 | 2,7 | 1,9 |
| 4 | 1763,5 | 15,7 | 10,3 | 7,4 | 5,7 |
| 5 | 3447,0 | 18,9 | 11,3 | 8,0 | 5,6 |
| 6 | 1783,4 | 11,1 | 6,1 | 4,5 | 3,0 |

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 18,8.** Stufenzahl 1.

Tab. 52.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 866,8 | 1,3 | 1,1 | 0,8 | 0,7 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 8618,0 | 5,7 | 3,2 | 2,4 | 1,7 |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 46,6.** Stufenzahl 24.

Tab. 53 (Anfang).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 22,3 | 0,0 | 0,0 | | |
| 20 | 24,8 | 0,0 | 0,0 | | |
| 16 | 29,9 | 0,0 | 0,0 | | |
| 12 | 37,1 | 0,0 | 0,0 | | |
| 8 | 49,8 | 0,2 | 0,0 | | |
| 4 | 75,1 | 0,7 | 0,6 | | |
| unterbrochen = 0 | 139,0 | 1,4 | 1,0 | | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 4 | 341,2 | 4,3 | 2,6 | 1,9 | 0,8 |

Tab. 53 (Schluss).

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 5 sec | 15 sec |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 4244,0 | 34,3 | 22,9 | 15,2 | 7,2 [1]) |
| 12 | 281,5 | 3,4 | 2,0 | 1,4 | 0,4 |
| 16 | 99,6 | 1,4 | 0,9 | | |
| 20 | 57,2 | 0,9 | 0,6 | | |
| 24 | 40,2 | 0,6 | 0,2 | | |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 46,6.** Stufenzahl 6. Tab. 54.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec | 8 sec |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 94,5 | 0,0 | 0,0 | |
| 4 | 111,4 | 0,0 | 0,0 | |
| 3 | 135,3 | 0,0 | 0,0 | |
| 2 | 178,1 | 0,3 | 0,2 | |
| 1 | 257,8 | 0,5 | 0,2 | |
| unterbrochen = 0 | 440,7 | 1,2 | 0,7 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 1008,0 | 3,3 | 2,2 | |
| 2 | 8947,0 | 28,2 | 16,2 | 5,1 |
| 3 | 4623,0 | 2,8 | 1,4 | |
| 4 | 597,8 | 1,0 | 0,5 | |
| 5 | 285,5 | 0,5 | 0,2 | |
| 6 | 188,5 | 0,3 | 0,1 | |

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 46,6.** Stufenzahl 1. Tab. 55.

| Stufe | 0 sec | 1 sec | 3 sec |
|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 1225,0 | 1,2 | 0,9 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | |
| 1 | 15750,0 | — 0,9 | — 0,9 |

1) An dieser Stelle erhielt ich nach 60 sec noch einen Ausschlag von 1,4 Skalenteilen.

Die magnetische Verzögerung bei Serie 5 ist grösser als bei den beiden anderen Serien. Sie nimmt auch hier mit abnehmender Stufenzahl ab.

## Ergebnis der Beobachtung der magnetischen Nachwirkung.

Der Eisenring zeigt, wie zu erwarten war, in den schwachen Feldern ($\mathfrak{H}_{max}$ 1,3) die grösste Viskosität; bei hohen Feldstärken ($\mathfrak{H}_{max}$ 55) ist sie zwar auch vorhanden, aber relativ und absolut genommen in nur sehr geringem Masse. Der Ring aus Wolframstahl besitzt dagegen bei niederen Feldstärken ($\mathfrak{H}_{max}$ 11) fast gar keine magnetische Verzögerung, in stärkeren Feldern ($\mathfrak{H}_{max}$ 55) jedoch eine recht merkliche. Das Letztere hat auch Jouaust [1]) an Ringen aus Gussstahl und angelassenem Stahl wahrgenommen.

Dass die Viskosität auch bei den Drahtringen auftreten würde, war nicht vorauszusehen; denn nach den Untersuchungen von Helmholtz [1]) und von Holborn [2]) nimmt der Magnetismus in dünnen Drähten fast sofort seinen Endwert an. Ich hatte aber schon bei den Versuchen nach der unipolaren Methode Gelegenheit zu beobachten, dass auch bei dünnen Drähten magnetische Nachwirkung vorhanden ist. An manchen Stellen des Magnetisierungsprozesses konnte ich nämlich ein deutliches Nachkriechen um ca. 1 Skt. (innerhalb 30 bis 60 sec) wahrnehmen. Bei den Versuchen mit den Ringen ist die Verzögerung noch erheblich grösser. Es hat dies vermutlich seinen Grund in der grösseren An-

1) Raymond Jouaust: Les phénomènes de viscosité magnétique dans les aciers doux industriels et leur influence sur les méthodes de mésure. C. R. 1904. T. 139, pag. 272. Von dieser Abhandlung erhielt ich erst Kenntnis, als ich meine Versuche fast beendet hatte.

2) v. Helmholtz. Wissenschaftliche Abhandlungen. 1. Bd. 1882, pag. 458.

3) L. Holborn. Über den zeitlichen Verlauf der magnetischen Induktion. Sitzungsber. der Berl. Akad. 11. Bd. 1896, pag. 173.

zahl der den Querschnitt durchsetzenden Drähte.[1]) Durch Untersuchungen an einem Bündel aus 80 0,03 cm dicken Eisendrähten gelangte auch J. Klemenčič[2]) zu der Annahme, „dass tatsächlich Drähte von 0,03 cm Dicke eine magnetische Nachwirkung zeigen". Meine Beobachtungen bestätigen dies und erweisen es auch für Stahldraht.

Die Verschiedenheit der Felder, in denen die Viskosität bei den einzelnen Ringen am stärksten auftritt, ist eine weitere interessante Erscheinung. Diese Felder sind nämlich, wie die folgende Zusammenstellung der betreffenden Maximalfeldstärken zeigt, um so stärker, je härter das Material des Ringes ist:

$\mathfrak{H}_{max}$ 1,3 beim Eisenring . . . . Serie 1
$\mathfrak{H}_{max}$ 4,5 beim Blumendrahtringe . Serie 5
$\mathfrak{H}_{max}$ 18,8 beim Stahldrahtringe . . Serie 5
$\mathfrak{H}_{max}$ 55,0 beim Stahlringe . . . Serie 3.

Es kann also hiernach — und die Versuche mit den letzten drei Ringen bestätigen dies — je nach der Härte des Materials in schwachen Feldern die magnetische Verzögerung geringer sein als in stärkeren. Die gleiche Folgerung, aber nur für Eisen, zog Mazotto[3]) aus seinen Untersuchungen mit 6—8 mm dicken Stäben: „Es erleidet mit zunehmender Stärke des magnetisierenden Feldes der Prozentbetrag der magnetischen Nachwirkung eine rasche Abnahme, wenn das Eisen ausgeglüht, dagegen eine Zunahme, wenn dasselbe genügend angelassen wurde."

Die Viskosität macht sich am stärksten bei den Serien geltend, die nach den Beobachtungen mittels der ballistischen Methode hohe Werte der Permeabilität aufweisen.

---

1) Auch das Fehlen der Gegenwirkung der entmagnetisierenden Kraft dürfte hier in Frage kommen.

2) J. Klemenčič. Über magnetische Nachwirkung. Wied. Ann. Bd. 62. 1897, pag. 81.

3) D. Mazotto. Über die magnetische Nachwirkung. Nuov. Cim. 11. 1900, pag. 81; entnommen den Beiblättern zu Drudes Ann. Bd. 24. 1900, pag 1166.

Bei diesen Serien und ebenso bei den anderen, mögen sie nun eine höhere oder niedere Maximalfeldstärke als jene besitzen, zeigt sich fast ausnahmslos an den Stellen eines Kreisprozesses die grösste magnetische Nachwirkung, in deren Bereich die entsprechende $\mathfrak{H}$—$\mathfrak{B}$ Kurve am steilsten ist. Diese Kurvenabschnitte deuten aber bekanntlich die höchsten Permeabilitätswerte an, die in dem betreffenden Kreisprozesse erreicht werden. Ich schliesse hieraus, dass neben der Dicke des Versuchsstückes und der Grösse der Feldänderung vor allem hohe Werte der Permeabilität das Auftreten der magnetischen Verzögerung bedingen. Für diese Annahme sprechen die Beobachtungen von Mazotto[1]) an Stäben, wonach mit einer einzigen Ausnahme die Permeabilität für gleiche Feldstärken die gleiche Änderung zeigte wie die magnetische Nachwirkung. Ebenso gelangt auch Jouaust[2]) durch Versuche mit 1 bis 2 cm dicken Ringen aus weichem Stahl zu dem Resultate, dass die Viskosität in der Nähe des Maximums der Permeabilität am stärksten auftritt. Im Gegensatze hierzu stehen die Beobachtungen von Klemenčič,[3]) die bei gleicher Permeabilität die Nachwirkung von der Vorgeschichte des Versuchsstücks (hier 4—9 mm dicke Stäbe) abhängig erscheinen lassen, und besonders die von M. Wien,[4]) nach denen die magnetische Verzögerung beim Maximum der Permeabilität verschwindend ist.

Nach meinen Versuchen ist die Viskosität ihrem Relativ- und meist auch ihrem Absolutwerte nach bei kleinen Stufen am grössten. Sie nimmt ab, wenn die Stufen grösser werden. Das Gleiche hat mittels der magnetometrischen Methode auch Fromme[5]) gefunden.

1) l. c.

2) l. c.

3) J. Klemenčič. Permeabilität und Nachwirkung. Sitzungsbericht der Akad. Wien. 1901. Abt. IIa. pag. 428.

4) M. Wien. l. c. pag. 888.

5) C. Fromme. Über die magnetische Nachwirkung des Eisens. Wied. Ann. Bd. 65. 1898. pag. 41.

Während Jouaust[1]) die magnetische Nachwirkung nur in abnehmendem Felde als vorhanden ansieht, entnehme ich aus meinen Beobachtungen, dass sie ausser im ab- auch im zunehmenden Felde sich zeigt; ihre Absolutwerte sind hier sogar grösser als im abnehmenden Felde. Versuche von Fromme[2]) und von Klemenčič[3]) haben schon dargetan, dass auch in höheren Feldern, als man gewöhnlich annimmt, die magnetische Verzögerung auftritt. Meine Beobachtungen bestätigen dies. In Feldern, deren grösste Stärke zur Sättigung ausreicht, scheint indes die Viskosität nur sehr gering zu sein. Darauf deuten die Ergebnisse für den Eisenring (entspr. Serie 3. $\mathfrak{H}_{max}$ ca. 54,0. Tab. 29 bis 31) hin.

Die Untersuchung der magnetischen Nachwirkung hat vor allem gezeigt, dass diese bei den Serien am stärksten ist, bei denen sich auch der grösste Einfluss der Stufenzahl geltend macht, nämlich beim Eisenring Serie 1, Stahlring Serie 3, Blumendrahtring Serie 5 und Stahldrahtring Serie 5.

### Der Einfluss der magnetischen Nachwirkung auf die ballistischen Messungen.

Die Ergebnisse der Versuche über die magnetische Verzögerung enthalten zwar einen Hinweis auf die Möglichkeit, die bei der ballistischen Methode beobachteten grossen Unterschiede in der Maximalinduktion bei verschieden grossen Stufen zu erklären, jedoch bleibt es angesichts der Resultate, zu denen die unipolare Methode führte, und der Ermittlungen von Gumlich und Schmidt[4]) immer noch fraglich, ob der ganze Unterschied durch die Viskosität bewirkt ist oder nicht. Eine Schätzung des Einflusses derselben dürfte am ehesten einen Einblick in die immerhin komplizierten Verhältnisse gestatten.

1) l. c.

2) l. c

3) J. Klemenčič. Magnetische Nachwirkung bei verschiedenen Feldstärken. Sitzungsbericht der Akad. Wien. 160. IIa. 1897. pag. 680.

4) l. c.

Bei den Beobachtungen der magnetischen Nachwirkung konnte ich in einigen Fällen nach 60 sec noch Ausschläge bis zu 1,4 Skalenteilen erhalten. Da die halbe Schwingungsdauer des Galvanometers, also die Ausschlagszeit, nur 6,5 sec beträgt, so ist klar, dass ein beträchtlicher Teil der Änderung der magnetischen Induktion unberücksichtigt bleibt. Es ist dies der Betrag der Entladungsmenge, der nach den 6,5 sec noch abläuft. Aber auch der in den ersten 6,5 sec ablaufende Teil wird durch den ersten Ausschlag nur ungenau gemessen, da der Stromstoss nicht momentan, sondern in immer schwächer werdenden Impulsen erfolgt. Beide nachteiligen Wirkungen der Viskosität können schätzungsweise ermittelt werden.

a) Die Ermittlung der nach der ersten Elongation des Galvanometers noch erfolgenden Änderung der magnetischen Induktion.

Hierfür schlägt Herr Professor Dr. Dorn folgenden Weg vor:

Ist $\mathfrak{B}$ der momentane Wert der vorhandenen magnetischen Induktion, so wirkt während des Zeitelementes dt induzierend $\frac{d\mathfrak{B}}{dt} \cdot dt$. Die ganze induzierte elektromotorische Kraft entspricht (abgesehen von dem Faktor q N):

$$-\int_0^\infty \frac{d\mathfrak{B}}{dt}\, dt = \mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty .$$

Für die Änderung, die nach einer bestimmten Zeit t noch erfolgt, kann man unter der Annahme eines Exponentialgesetzes in erster Näherung setzen:

$$\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty = (\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty)\ e^{-\lambda t},$$

wo $\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty$ und $\lambda$ zu ermittelnde Konstanten sind. Beobachtet sind die nach den verschiedenen Zeiten noch erfolgenden Ausschläge $n_1$, $n_2$, $n_3$ u. s. w. Sieht man von dem kleinen Betrage ab, um den jeder Ausschlag infolge des nicht momentan eintretenden Stromstosses zu klein ist,

so sind diese Ausschläge proportional folgenden Zeitintegralen:

$$-\int_{t_1}^{t_1+\frac{T}{2}} \frac{d\mathfrak{B}}{dt}\,dt;\quad -\int_{t_2}^{t_2+\frac{T}{2}} \frac{d\mathfrak{B}}{dt}\,dt;\quad -\int_{t_3}^{t_3+\frac{T}{2}} \frac{d\mathfrak{B}}{dt}\,dt;\ \ldots$$

wo $\frac{T}{2}$ die halbe Schwingungsdauer ist. Nach der Näherungsformel ist nun:

$$\mathfrak{B}_{t_1} - \mathfrak{B}_{t_1+\frac{T}{2}} = (\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty)\ e^{-\lambda t_1}\left(1 - e^{-\lambda\frac{T}{2}}\right) = c \cdot n_1$$

$$\mathfrak{B}_{t_2} - \mathfrak{B}_{t_2+\frac{T}{2}} = (\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty)\ e^{-\lambda t_2}\left(1 - e^{-\lambda\frac{T}{2}}\right) = c \cdot n_2$$

. . . . . .

oder: $\frac{n_1}{n_2} = e^{-\lambda(t_2-t_1)},\ \frac{n_2}{n_3} = e^{-\lambda(t_3-t_2)},\ \ldots$

Hieraus kann $\lambda$ bestimmt und geprüft werden, ob die Abnahme nahe exponential geschieht. Die Rechnungen ergaben, dass das letztere nach $t = 3$ sec auch merklich der Fall ist. Für frühere Zeiten hat $\lambda$ einen etwas grösseren Wert, d. h. die Abfallkurve liegt bis zu $t = 3$ sec etwas über der entsprechenden Exponentialkurve.

In der Näherungsformel hat $\mathfrak{B}_0 - \mathfrak{B}_\infty = \beta$ nur die Bedeutung einer Rechengrösse. Sie ergibt sich aus:

$$\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_{t+\frac{T}{2}} = \beta\ e^{-\lambda t}\left(1 - e^{-\lambda\frac{T}{2}}\right)$$

$$\beta = \frac{n_t \cdot e^{\lambda t}}{\left(1 - e^{-\lambda\frac{T}{2}}\right)}$$

wo $n_t$ der nach der Zeit t noch erfolgende Ausschlag ist. Demnach ist die Änderung der magnetischen Induktion nach der Zeit t näherungsweise bestimmt durch:

$$\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty = \beta\, e^{-\lambda t}.$$

Diese Formel gestattet eine graphische Darstellung[1]) des Abfalls. Sie ergibt insbesondere auch für den speziellen Wert $t = \frac{T}{2} = 6{,}5$ die nach dem ersten Ausschlage noch erfolgende Änderung der magnetischen Induktion.

### b) Die Korrektion infolge des nicht momentan eintretenden Stromstosses.

Erfolgt der Stromstoss nicht rechtzeitig oder in mehreren Impulsen, so ist der entstehende Galvanometerausschlag den speziellen Verhältnissen entsprechend zu gross oder auch zu klein. Dies hat Herr Professor Dr. Dorn[2]) nachgewiesen und strenge Formeln zur Berechnung der erforderlichen Korrektionsgrössen gegeben. Ist $v_0$ die Geschwindigkeit in dem Moment, in welchem der erste Geschwindigkeitszuwachs erteilt wird, und sind die $\gamma_h$ die zur Zeit $t_h$ eintretenden Geschwindigkeitszunahmen, so ergibt sich mittels der Formel 22, pag. 660 der zitierten Abhandlung die Geschwindigkeit $V_0$, die bei momentanem Stoss erteilt werden würde, durch die Näherungsformel:

$$V_0 = v_0 + \Sigma\gamma_h + \frac{\varrho^2 + \alpha^2}{2}\left\{\frac{(\Sigma\gamma_h \cdot t_h)^2}{v_0 + \Sigma\gamma_h} - \Sigma\gamma_h\, t_h^2\right\}$$

wo $\varrho = \frac{\lambda_{nat}}{T}$, $\alpha = \frac{\pi}{T}$, $\lambda_{nat}$ das nat. log. Dekrement und T die Schwingungsdauer des ungedämpften Galvanometers ist.

Die Ergebnisse nach der Näherungsformel wurden mit denen nach der strengen Formel (pag. 656)

$$V_0 = \sqrt{(v' + \alpha\varphi')^2 + \varrho^2\varphi'^2}\; e^{-\frac{\alpha}{\varrho}\operatorname{arctg}\left(-\frac{\varrho\varphi'}{v' + \alpha\varphi'}\right)}$$

erhaltenen verglichen und ergaben eine fast völlige Übereinstimmung. Es wurde daher zur Berechnung nur die

---

1) Genauere Angaben erfolgen auf pag. 99.

2) E. Dorn. Zur Multiplikations- und Zurückwerfungsmethode. Wied. Ann. Bd. 17. 1882. pag. 654.

Näherungsformel verwendet. Die Grösse

$$\frac{\varrho^2 + \alpha^2}{2} \left\{ \frac{(\Sigma \gamma_h \, t_h)^2}{v_0 + \Sigma \gamma_h} - \Sigma \gamma_h \, t_h^2 \right\}$$

gibt annähernd die Differenz, die infolge des nicht momentanen Stromstosses eintritt.

### Anwendung der Näherungsformeln.

Ich habe die Formeln bei den einzelnen Ringen auf eine Anzahl Stufen angewendet und zwar bei den Serien, die die grösste Abhängigkeit von der Stufenzahl zeigen. Für jede dieser Stufen habe ich mittels der Formel:

$$\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty = \beta \, e^{-\lambda t}$$

die Werte von $\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty$ für $t = 5{,}0,\ 6{,}5,\ 7{,}5,\ 8{,}0$ und $10{,}0$ sec berechnet und die $t - (\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty)$ Kurve gezeichnet. Auf die Figur ist bei den betreffenden Stufen verwiesen. Als Kurvenpunkt für $t = 1$ nahm ich stets den an, der bestimmt ist durch $t = 1$ und die Summe aus dem zu dieser Zeit beobachteten Ausschlage [1]) und dem berechneten $\mathfrak{B}_{7,5} - \mathfrak{B}_\infty$. Ebenso verfuhr ich auch bei dem Punkte für $t = 3$ sec. Dies war nötig, weil für die ersten Sekunden die Stromabfallkurve nicht ganz exponential verläuft. Aus der Zeichnung konnte ich dann bequem die Werte für die $\gamma_h$ ermitteln; es wurde hierbei in Schritten von 0,5 sec vorgegangen. Ich berechnete hiermit nach der gegebenen Näherungsformel die Verspätungskorrektion $\delta$ und verglich dann $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ mit dem zur Zeit $t = 0$ erfolgenden Ausschlage A (der bei den Messungen beobachtet wird). $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in Prozenten von A gibt eine hinreichende Schätzung des Einflusses der magnetischen Verzögerung auf die ballistischen Messungen. Da es sich vor allem darum handelt, die grössten Unterschiede zu erklären, so habe ich bei den

1) d. h. der Ausschlag, der entstand, wenn der Sekundärkreis nach dieser Zeit geschlossen wurde.

erwähnten Serien meine Berechnungen auf die Zyklen mit der grössten (24) und der kleinsten (1) Stufenzahl beschränkt.

### Ring aus weichem Eisen.

Entsprechend **Serie 1.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 1,3.** Stufenzahl 24.

Tab. 56.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\frac{\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta}{A}$ in % von A | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 15,7 | 1,9 | 0,7 | 2,6 | 16,5 | |
| 10 | 26,3 | 3,8 | 1,5 | 5,3 | 20,2 | |
| unterbrochen = 0 | 50,8 | 9,3 | 2,7 | 12,0 | 23,6 | |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | | |
| 5 | 65,3 | 10,5 | 3,0 | 13,5 | 20,7 | |
| 15 | 162,1 | 27,7 | 5,4 | 33,1 | 20,5 | Fg.33[1]) |
| 20 | 102,9 | 14,7 | 4,8 | 19,5 | 19,0 | |
| 24 | 68,8 | 21,9 | 4,0 | 25,9 | 37,7 | |

Tab. 57. Stufenzahl 1.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\frac{\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta}{A}$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 794,7 | 7,5 | 1,9 | 9,4 | 1,2 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |

1) Die Bezeichnung beobachtete und berechnete Punkte in der Figur wurde pag. 99 erläutert. — Die der Fig. 33 analogen Kurven für die anderen Stufen gebe ich hier nicht wieder, da ja Fig. 33 das Charakteristische dieser Abfallkurven genügend zur Anschauung bringt.

Der durch die magnetische Nachwirkung bewirkte Unterschied beträgt ca. 22,0 %. Die bei der ballistischen Methode beobachtete Differenz war 28,5 %. Es bleiben also noch ungefähr 6,5 % übrig, die nicht von der Viskosität herrühren. Durch eine graphische Darstellung habe ich in Fig. 34 versucht, den erheblichen Fehler zu veranschaulichen, der infolge der magnetischen Verzögerung bei den ballistischen Messungen für Serie 1, Stufenzahl 24, vorhanden ist. Die ausgezogene $\mathfrak{H}$-$\mathfrak{B}$-Kurve entspricht den unkorrigierten Beobachtungen; bei der strichpunktierten ist der Einfluss der Nachwirkung berücksichtigt.

### Ring aus gehärtetem Wolframstahl.

Entsprechend **Serie 3.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 55,0.** Stufenzahl 24. Tab. 58.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 43,9 | | | | |
| 20 | 47,3 | | | | |
| 16 | 53,5 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 1,1 |
| 12 | 61,7 | | | | |
| 8 | 72,0 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,1 |
| 4 | 87,2 | | | | |
| unterbrochen = 0 | 110,1 | 1,1 | 0,9 | 2,0 | 1,8 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 4 | 123,0 | | | | |
| 8 | 138,8 | 1,6 | 1,6 | 3,2 | 2,4 |
| 12 | 161,6 | | | | |
| 16 | 184,1 | 3,9 | 2,4 | 6,3 | 3,9 |
| 20 | 187,9 | | | | |
| 24 | 179,7 | 5,0 | 2,6 | 7,6 | 4,2 |

Tab. 59. Stufenzahl 1.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 1646,0 | 2,2 | 1,8 | 4,0 | 0,2 |
| | | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 1 | 4077,0 | | | | |

Die beobachteten ersten Galvanometerausschläge sind hierbei ungefähr um 2,5% zu klein. Der Unterschied in der Maximalinduktion bei den Versuchen nach der ballistischen Methode beträgt 10,6%. Es können also hier ca. 8% nicht durch den nachteiligen Einfluss der Viskosität erklärt werden.

### Ring aus dünnem Blumendraht.

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 4,5.** Stufenzahl 24. Tab. 60.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 10,6 | | | | |
| 20 | 14,1 | | | | |
| 16 | 18,8 | | | | |
| 12 | 25,0 | 0,13 | 0,16 | 0,3 | 1,2 |
| 8 | 33,6 | | | | |
| 4 | 46,0 | | | | |
| unterbrochen = 0 | 66,6 | 0,13 | 0,37 | 0,5 | 0,8 |
| | | Kommutation der Stromrichtung. | | | |
| 4 | 89,5 | | | | |
| 8 | 133,8 | | | | |
| 12 | 295,1 | 2,13 | 2,14 | 4,3 | 1,5 |
| 16 | 297,1 | | | | |
| 20 | 170,9 | 2,01 | 1,43 | 3,4 | 2,0 |
| 24 | 124,0 | | | | |

Tab. 61. Stufenzahl 1.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 702,5 | 0,47 | 0,62 | 1,1 | 0,2 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 4160,0 | | | | |

Die Korrektion wegen der magnetischen Verzögerung beträgt in diesem Falle 1,5%. Der Unterschied an den entsprechenden Stellen bei den ballistischen Untersuchungen war 7,8%. Es sind also ca. 6% nicht durch die magnetische Nachwirkung bedingt.

### Ring aus hartem Stahldraht.

Entsprechend **Serie 5.** $\mathfrak{H}_{max}$ **ca. 18,8.** Stufenzahl 24. Tab. 62.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 17,4 | | | | |
| 20 | 20,0 | | | | |
| 16 | 24,3 | | | | |
| 12 | 29,9 | 0,09 | 0,18 | 0,3 | 1,0 |
| 8 | 38,0 | | | | |
| 4 | 49,3 | | | | |
| unterbrochen = 0 | 70,7 | 0,91 | 0,67 | 1,6 | 2,2 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 4 | 90,5 | | | | |
| 8 | 130,3 | | | | |
| 12 | 199,0 | 3,78 | 2,49 | 6,2 | 3,1 |
| 16 | 616,8 | | | | |
| 20 | 742,1 | 12,00 | 6,87 | 18,9 | 2,5 |
| 24 | 311,8 | | | | |

Tab. 63. Stufenzahl 1.

| Stufe | Beobachteter erster Ausschlag A | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty$ | Verspätungskorrektion $\delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ | $\mathfrak{B}_{6,5} - \mathfrak{B}_\infty + \delta$ in % von A |
|---|---|---|---|---|---|
| unterbrochen = 0 | 866,8 | 1,46 | 0,83 | 2,5 | 0,3 |
| | Kommutation der Stromrichtung. | | | | |
| 1 | 8618,0 | | | | |

Nach diesen Tabellen können ungefähr 2% auf die Wirkung der Viskosität zurückgeführt werden. Der Unterschied bei den Versuchen nach der ballistischen Methode belief sich auf 10,0%. Es bleiben also hier ca. 8% unerklärt.

Resultat: Berücksichtigt man den nicht unerheblichen Einfluss der magnetischen Verzögerung auf die ballistischen Messungen, so bleibt noch ein Maximalunterschied von 6—8% bei sämtlichen Ringen bestehen. Da dieser unmöglich auf Mängeln der Schätzungsmethode beruht, so kann die magnetische Nachwirkung nicht allein die Abhängigkeit der Maximalinduktion von der Stufenzahl bei den Untersuchungen nach der ballistischen Methode bewirkt haben. Es müssen vielmehr die verwendeten Materialien die Eigenschaft besitzen, dass ihr magnetischer Zustand bei hohen Werten der Permeabilität kleinen Änderungen der magnetisierenden Kraft nicht so folgen kann als grossen. Auch die Beobachtungen von Gumlich und Schmidt[1]) an dem Eisenellipsoid bei geringer Maximalfeldstärke (1,2), die mit den meinen nunmehr (nach erfolgter Korrektion) in den prozentualen Unterschieden nahe übereinstimmen, können nur durch die Annahme einer solchen Eigenschaft[2]) erklärt werden; denn die Viskosität hätte am Magnetometer leicht

1) l. c.

2) Diese muss sich auch bei den besonders technischen Zwecken dienenden Apparaten: der magnetischen Wage von Du Bois und dem Apparat von Köpsel-Kath geltend machen.

und sicher festgestellt werden können. Zu einem gleichen Ergebnisse führten auch die analogen Untersuchungen von M. Wien [1]) mit Wechselströmen verschiedener Wechselzahl und von K. Honda und S. Shimizu [2]) mit intermittierenden Strömen verschiedener Frequenz.

---

Die Hauptergebnisse der vorliegenden Arbeit fasse ich in die Sätze zusammen:

1. Bei der Magnetisierung von Ringen aus Eisen und Stahl zeigt sich bei hohen Werten der Permeabilität ein merklicher Einfluss der Stufenzahl, der nur zum Teil durch die Wirkung der magnetischen Viskosität erklärt werden kann. Bei niederen Werten der Permeabilität ist dieser Einfluss gering.
2. a) Die magnetische Nachwirkung tritt auch auf bei dünnem Eisen- und Stahldraht.
   b) Sie nimmt stets mit wachsender Grösse der Feldänderung ab.
   c) Bei hartem Material sind die Felder, in denen sich die magnetische Verzögerung am meisten geltend macht, stärker als bei weichem.
   d) Unter sonst gleichen Bedingungen ist die magnetische Nachwirkung bei hohen Werten der Permeabilität am grössten.
3. Die Viskosität kann bei ballistischen Messungen besonders in der Nähe des Maximums der Permeabilität erhebliche Fehler bewirken, die durch eine

---

1) l. c.

2) K. Honda und S. Shimizu. Magnetisierung von Eisen-, Stahl- und Nickeldrähten durch intermittierenden Strom. (Phys. Rev. 66. 1901. pag. 81.) Entnommen den Beibl. z. Drudes Ann. Bd. 26. 1902. pag. 104.

Verlängerung der Schwingungsdauer des Galvanometers nicht beseitigt werden können. In Feldern, deren grösste Stärke zur Sättigung ausreicht, ist indes der etwaige Fehler sehr gering.

Zum Schlusse will ich noch erwähnen, dass der Bügelrheostat und der Flüssigkeitswiderstand in anerkennenswerter Weise von dem Institutsmechaniker Herrn A. Böckel angefertigt worden sind.

Es sei mir noch gestattet, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. E. Dorn, für die freundliche Anregung und stete Unterstützung bei der Ausführung vorliegender Arbeit meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Ebenso sage ich auch meinem Freunde Herrn cand. phil. Ludwig Janicki für die Hilfe, die er mir bei den Untersuchungen nach der unipolaren Methode leistete, meinen besten Dank.

# Lebenslauf.

Geboren bin ich, Franz Rücker, am 20. Juli 1876 zu Mittelwalde in Schlesien. Meine Eltern, David Rücker, und dessen Ehefrau Theresia, geb. Heinsch, starben in meiner frühesten Jugend. Nachdem ich acht Jahre die Volksschule und $^1/_2$ Jahr eine höhere Knabenschule besucht hatte, war ich ungefähr drei Jahre als Lehrling in einem Eisengeschäft tätig. Innerhalb vier Monaten durch Privatunterricht vorbereitet, besuchte ich dann $2^1{}_4$ Jahre das Progymnasium zu Frankenstein i. Schles. und drei Jahre das Gymnasium zu Patschkau i. Schles., wo ich Ostern 1899 das Reifezeugnis erhielt. Ich studierte nun in Marburg, Berlin, München, Breslau und Halle Mathematik und Naturwissenschaften. In Breslau genügte ich zugleich meiner Militärpflicht.

Während meines Studiums hörte ich die Herren Professoren und Dozenten:

Bauer, Buchholz, v. Bezold, Cantor, v. Dalwigk, Dieckmann, Doebner, Dorn, Eberhard, Frobenius, Fischer, Franz, Fries, Grassmann, Hess †, v. Hertling, Herz, v. Kaufmann-Asser, Knoblauch, Kühnemann, Kirchhoff, Lasson, Lindemann, Luedicke, Melde †, Muther, Natorp, Partsch, Paulsen, Preuss, Riehl, Röntgen, Scupin, Schönwerth, Schulte, H. Schwarz, H. A. Schwarz, Vaihinger, Valentiner, Wahnschaffe, Wangerin, v. Weber, Weinstein, Wolff.

Alle diese meine verehrten Lehrer, besonders aber Herr Professor Dr. Dorn, mögen meines dauernden Dankes versichert sein.

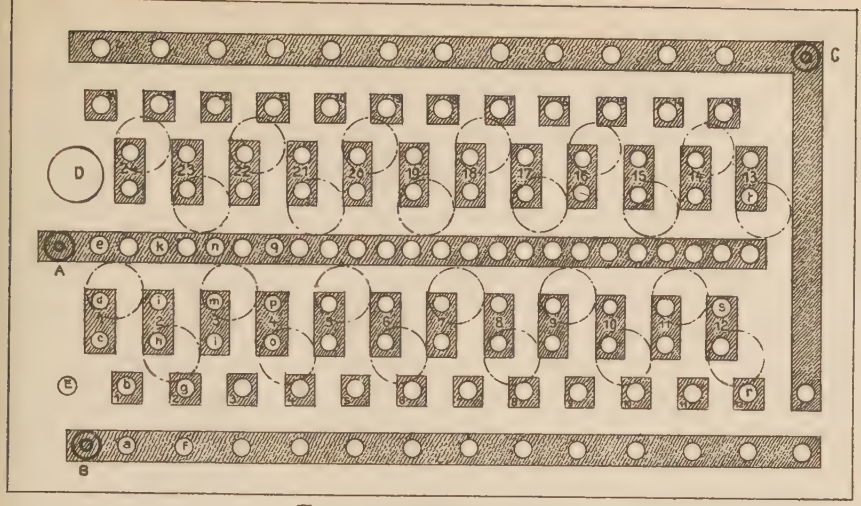



Fig.1. Massstab 1:4.

Fig. 2.
Massstab 1:4.

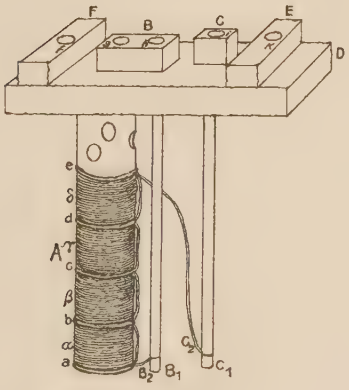



Fig. 3.
Massstab 1:4.

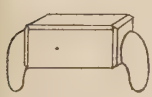


Fig. 4.
Massstab 1:2.

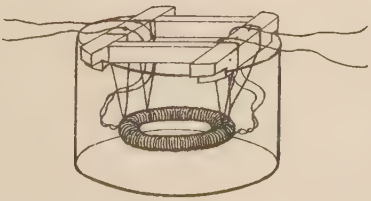


Fig. 5.
Massstab 1:8.

Fig. 6.
Massstab 1:8.

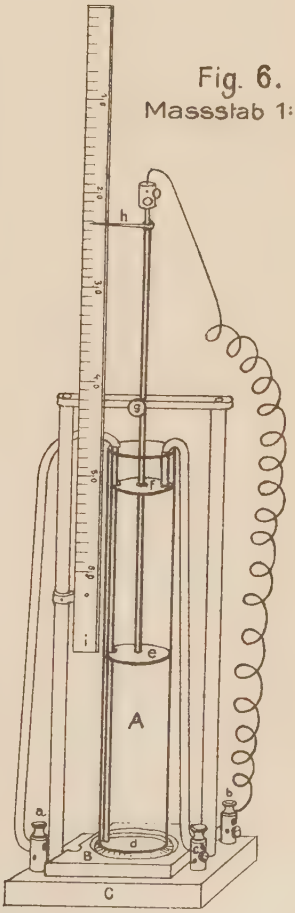


Fig. 7.

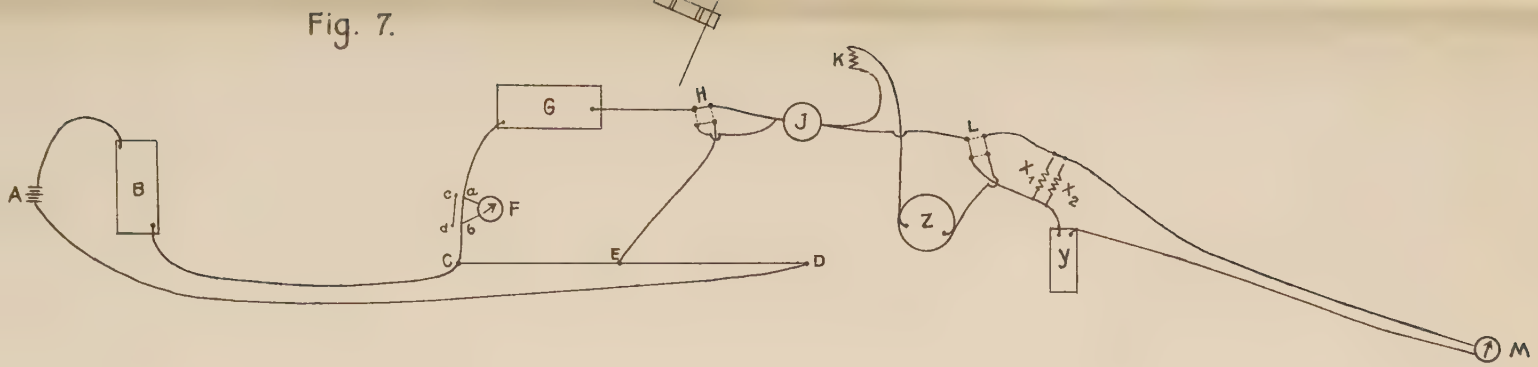



Fig. 8.

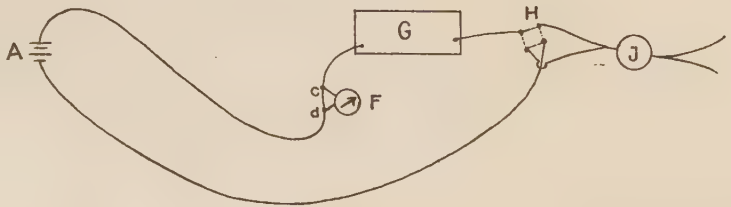



Fig. 9.

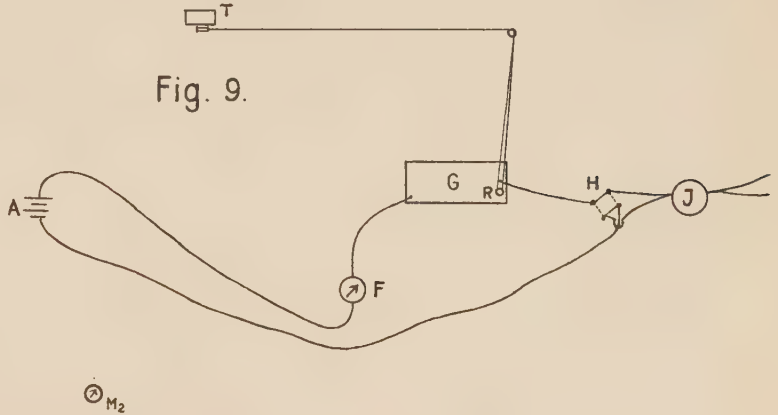


Fig. 19.

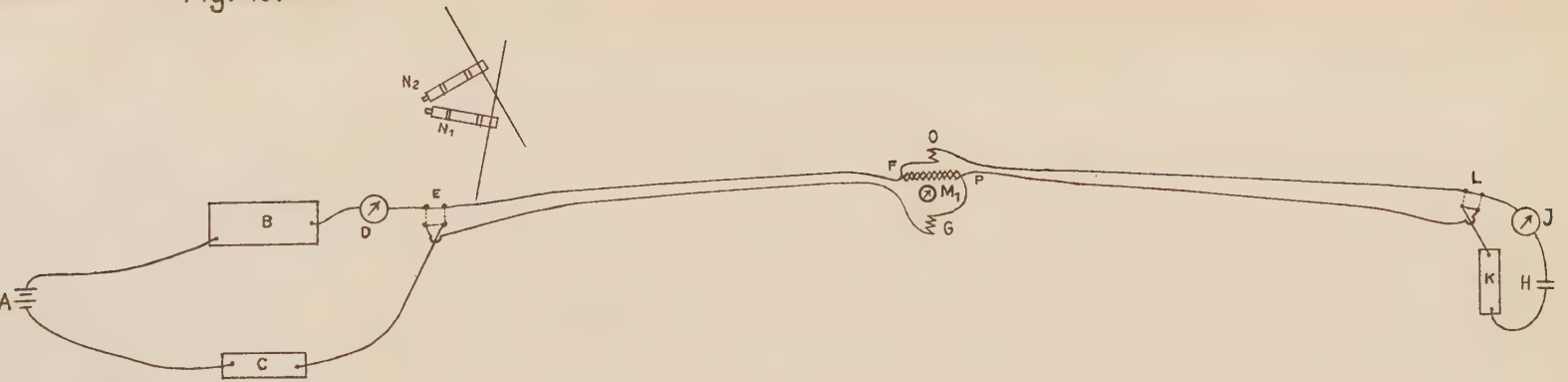



Fig. 12.

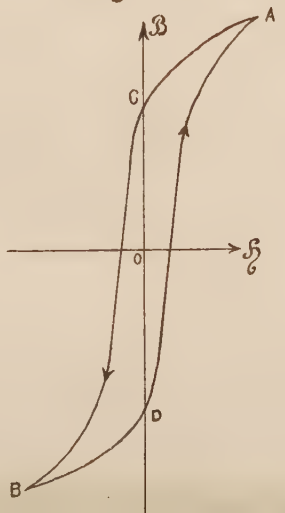



Fig. 11.

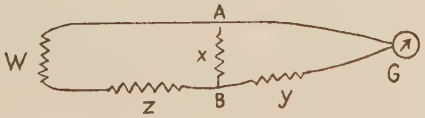



Fig. 13.

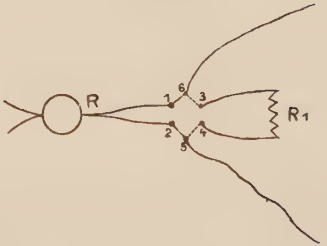
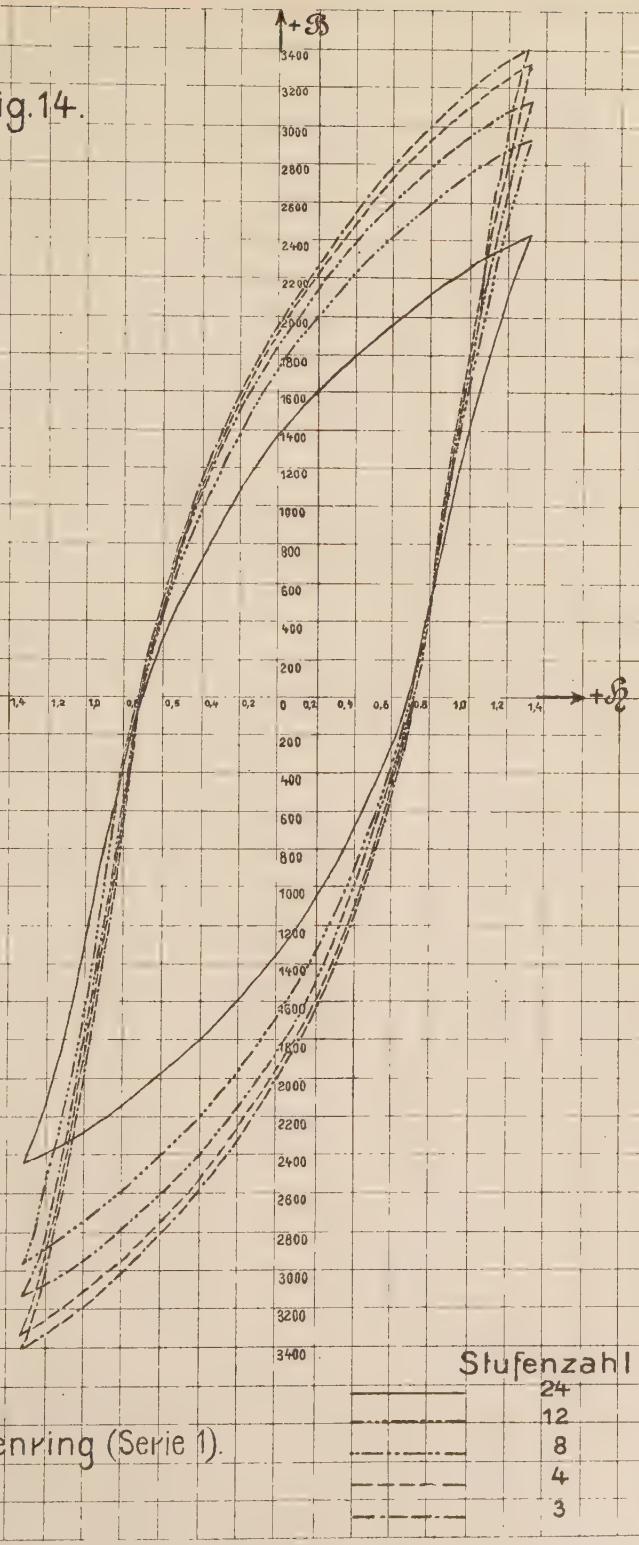
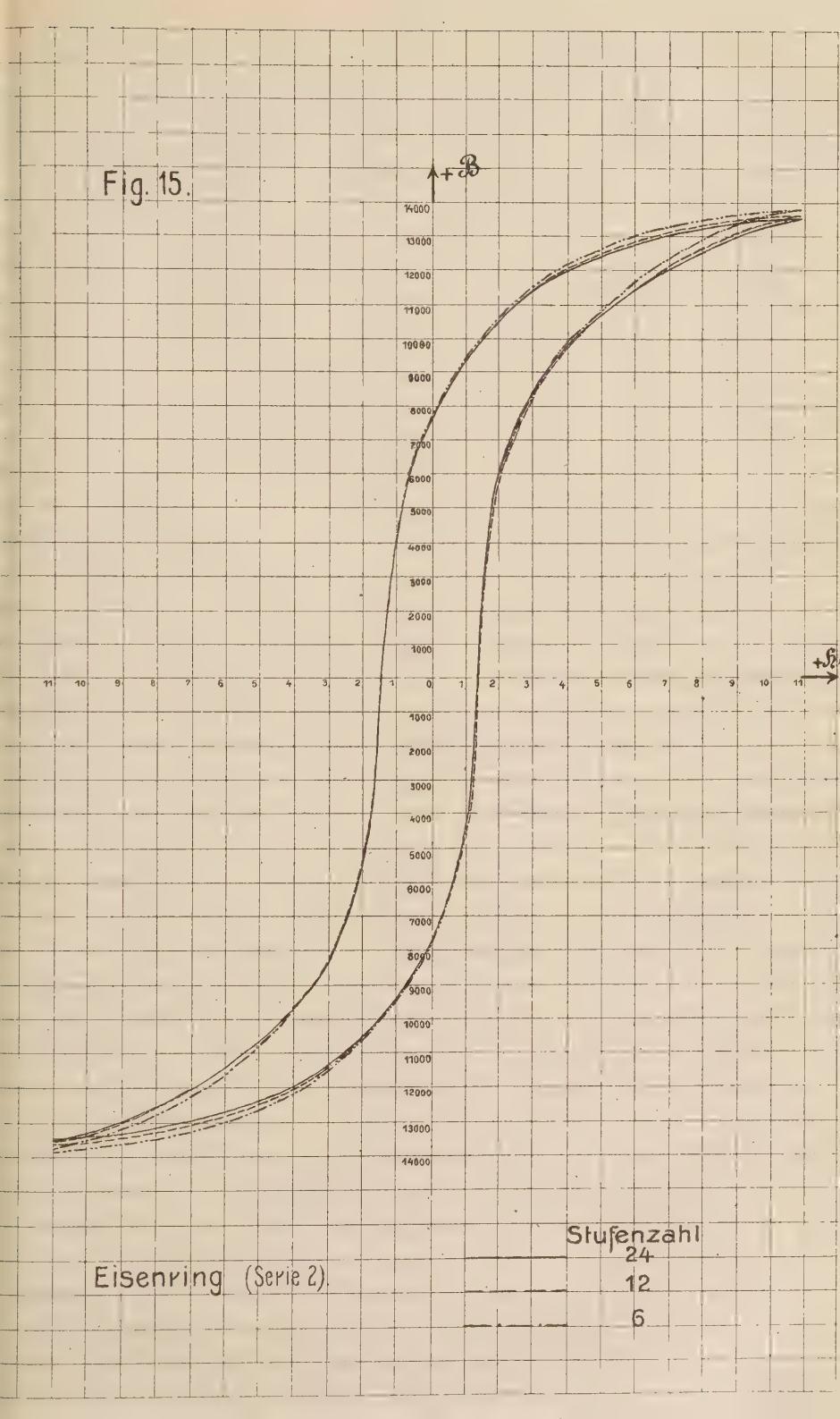


Fig. 14.



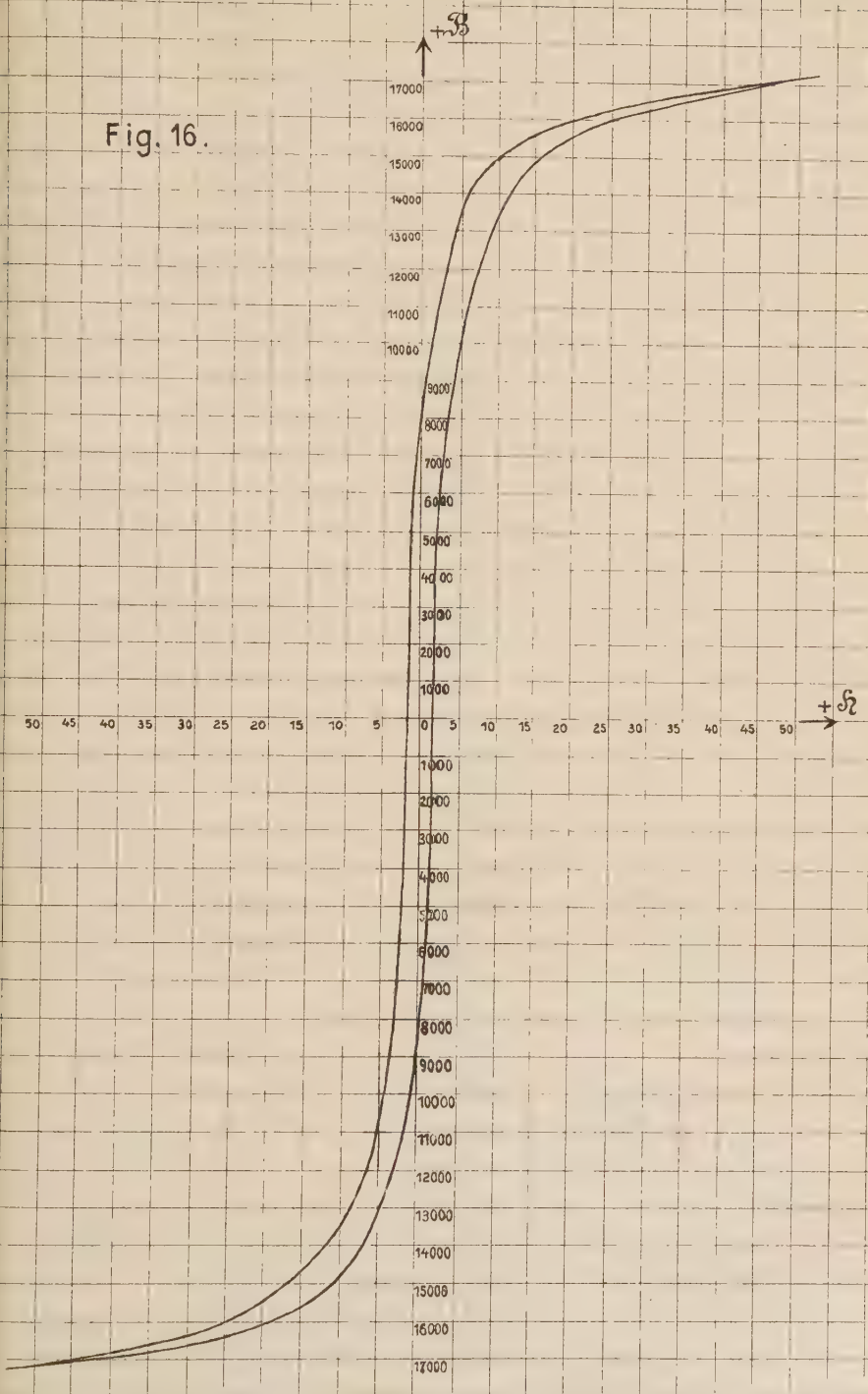

Eisenring (Serie 1).

Fig. 15.




Eisenring (Serie 2).

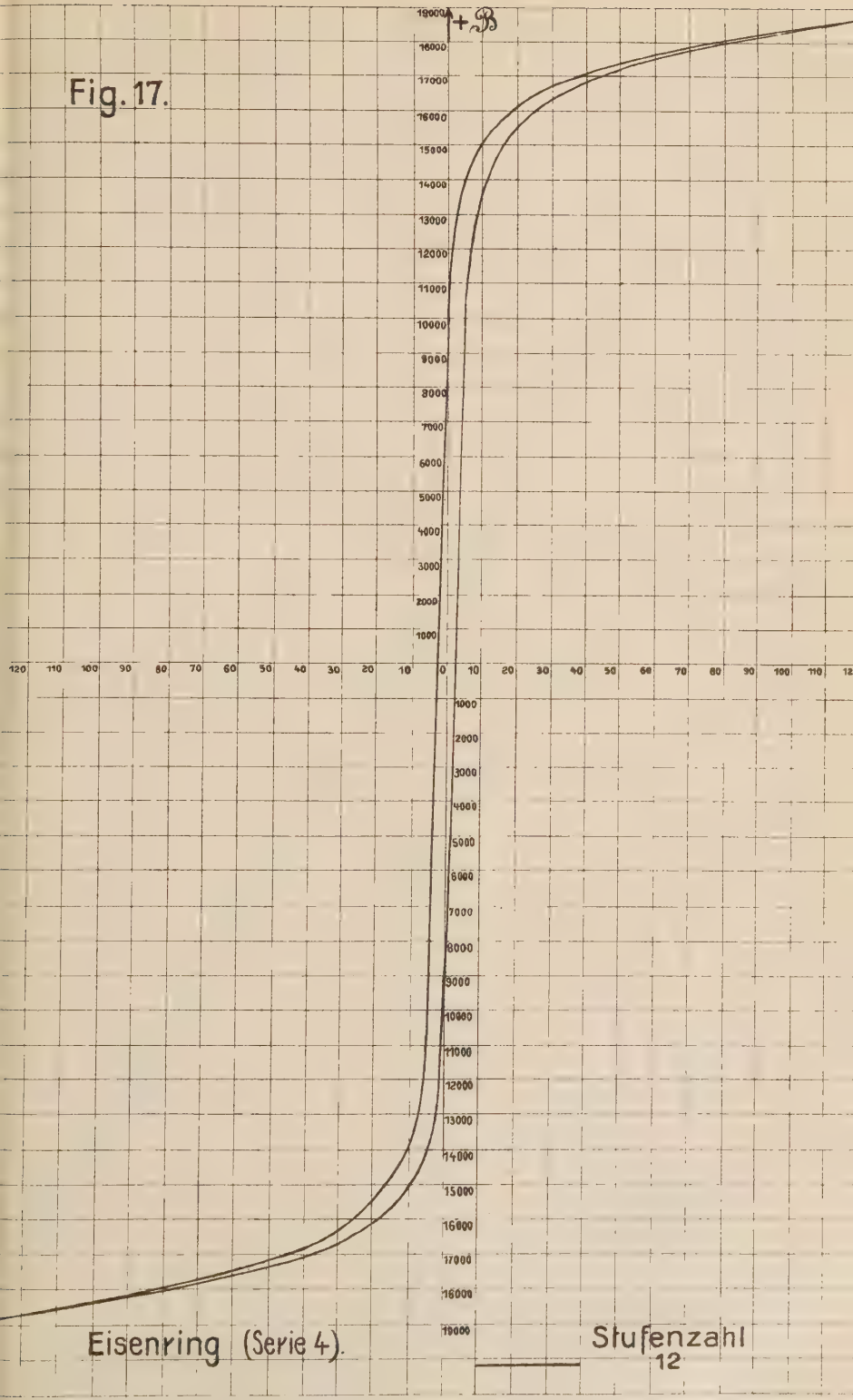
Fig. 16.




Eisenring (Serie 3.)

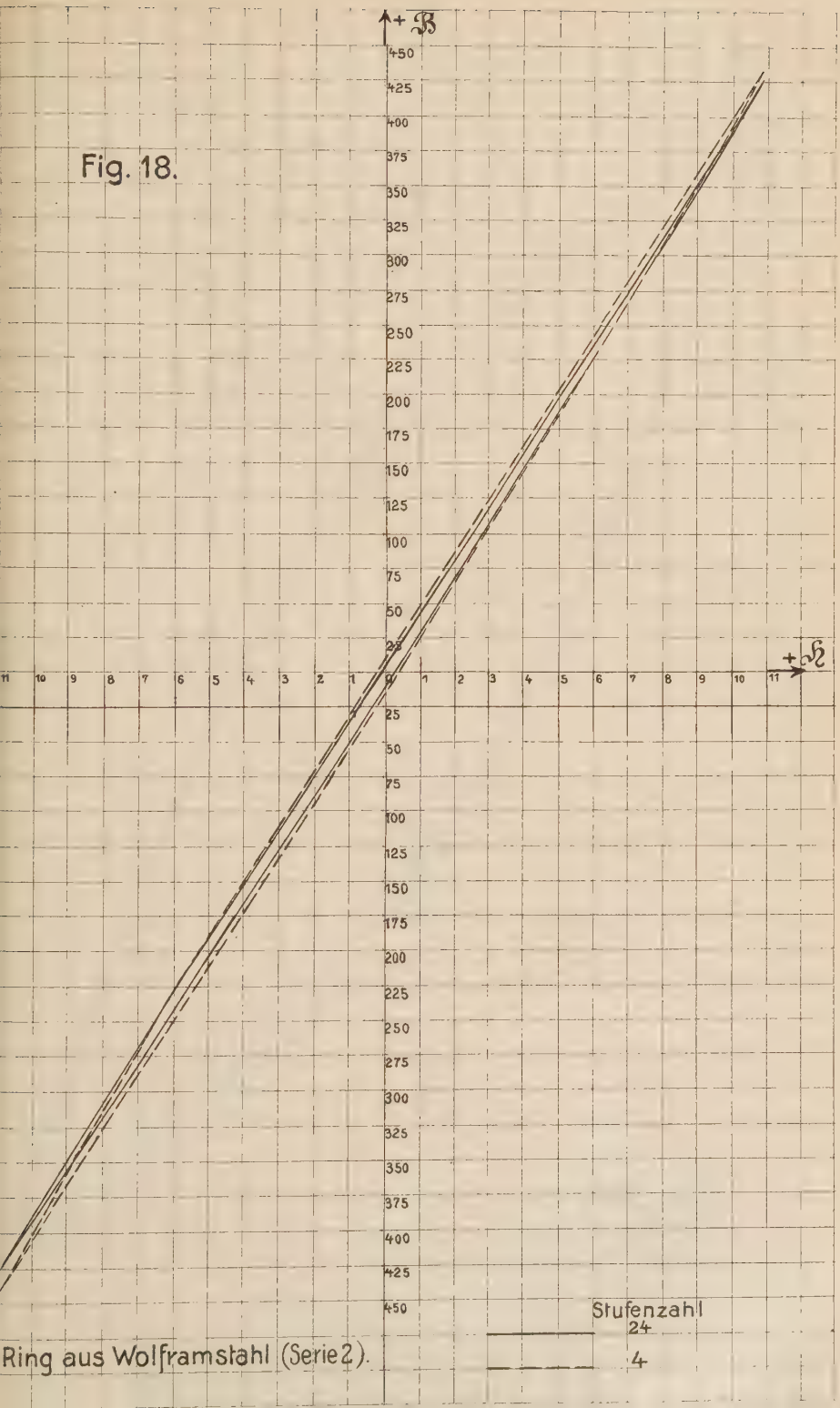
—— Stufenzahl 12

Fig. 17.



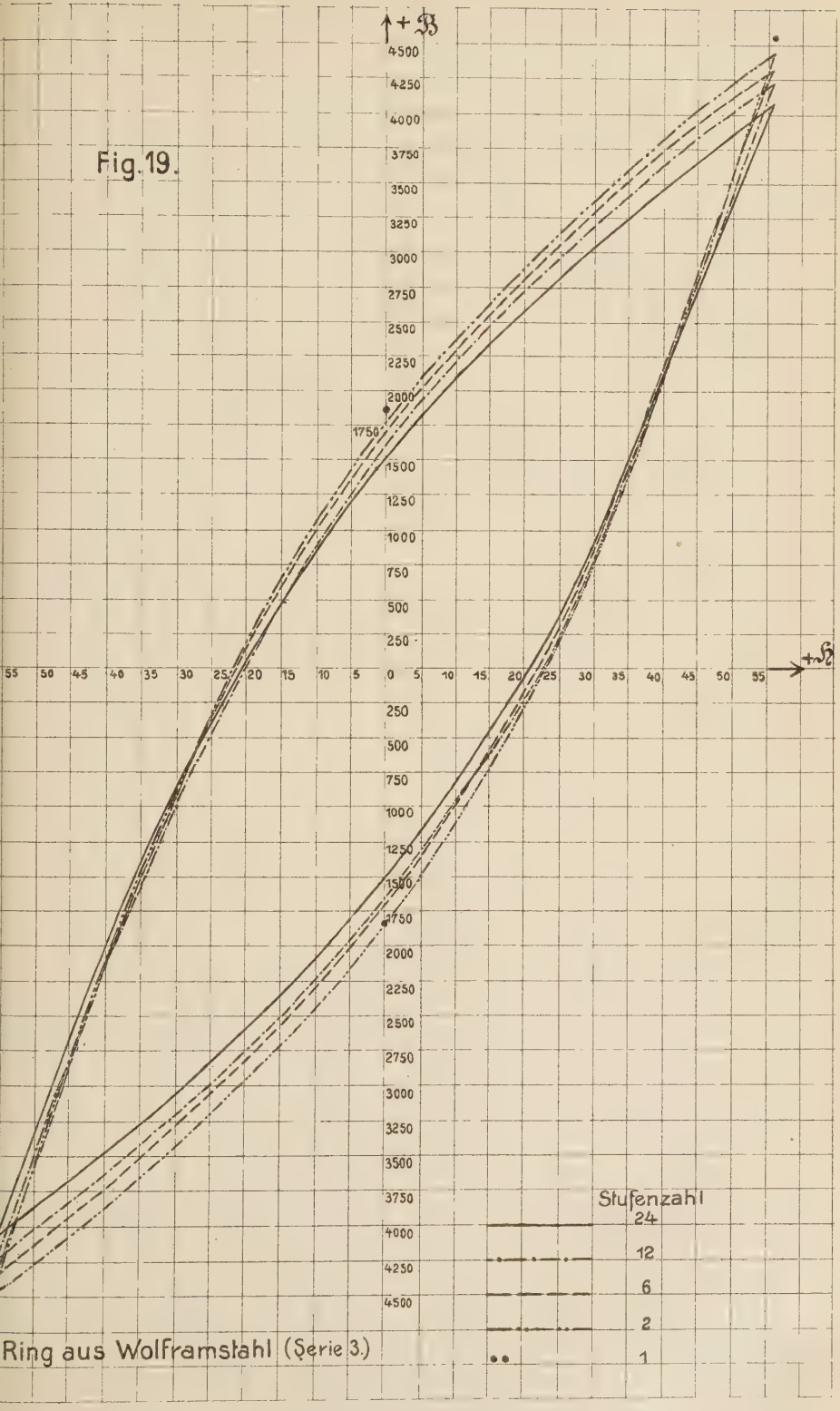

Eisenring (Serie 4).

Stufenzahl
12



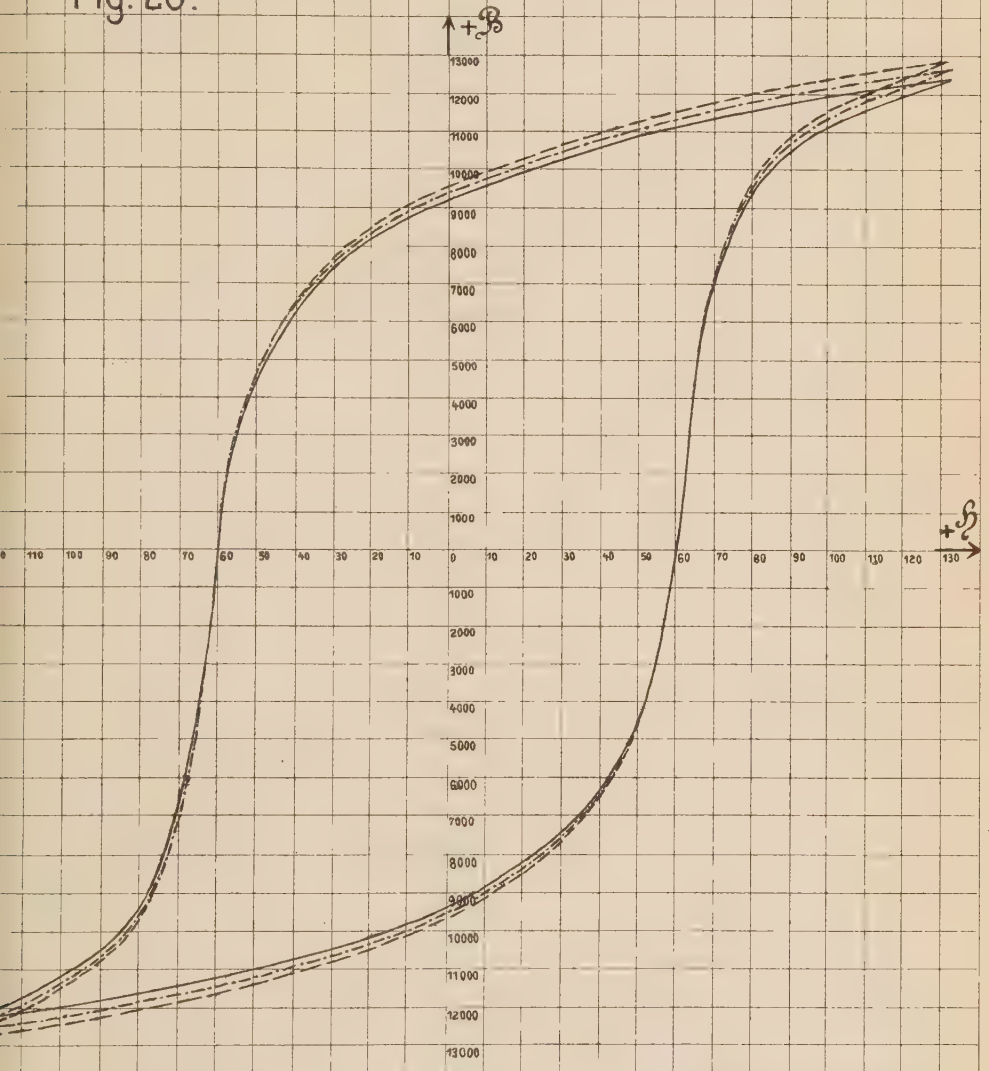

Ring aus Wolframstahl (Serie 2).

Fig. 19.




Ring aus Wolframstahl (Serie 3.)

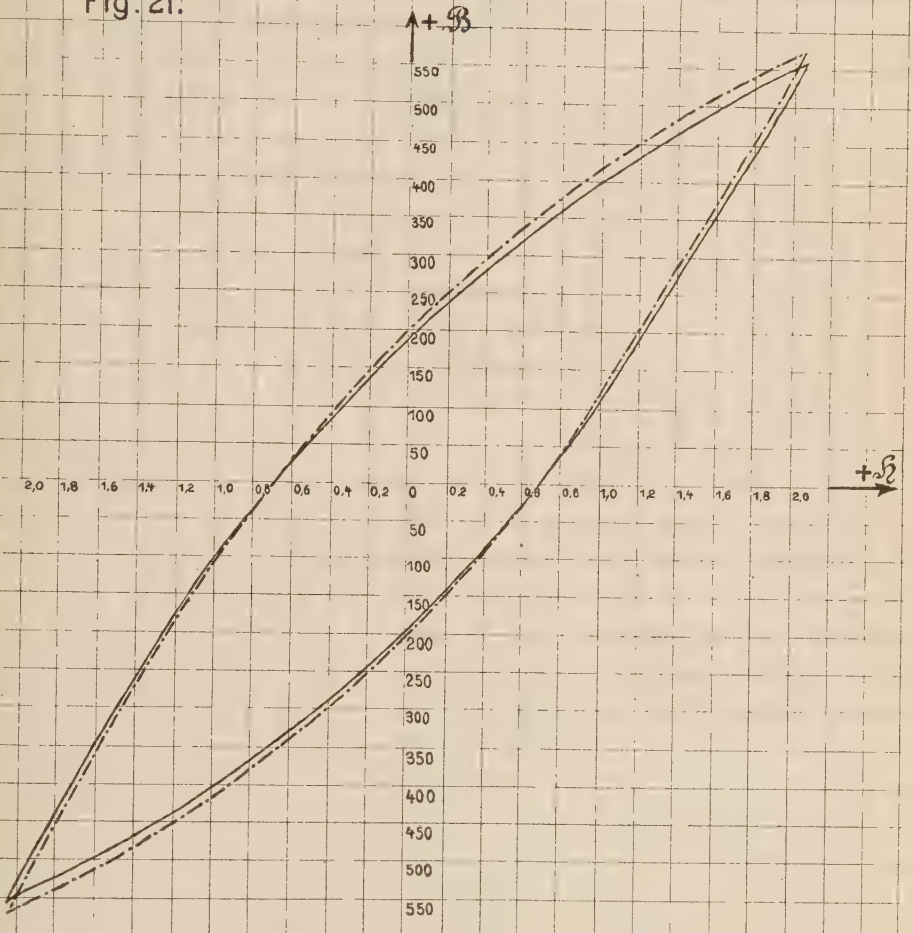
Fig. 20.




ng aus Wolframstahl (Serie 4).

Stufenzahl
24
8
2

Fig. 21.




Ring aus Blumendraht (Serie 1).

Stufenzahl
24
4

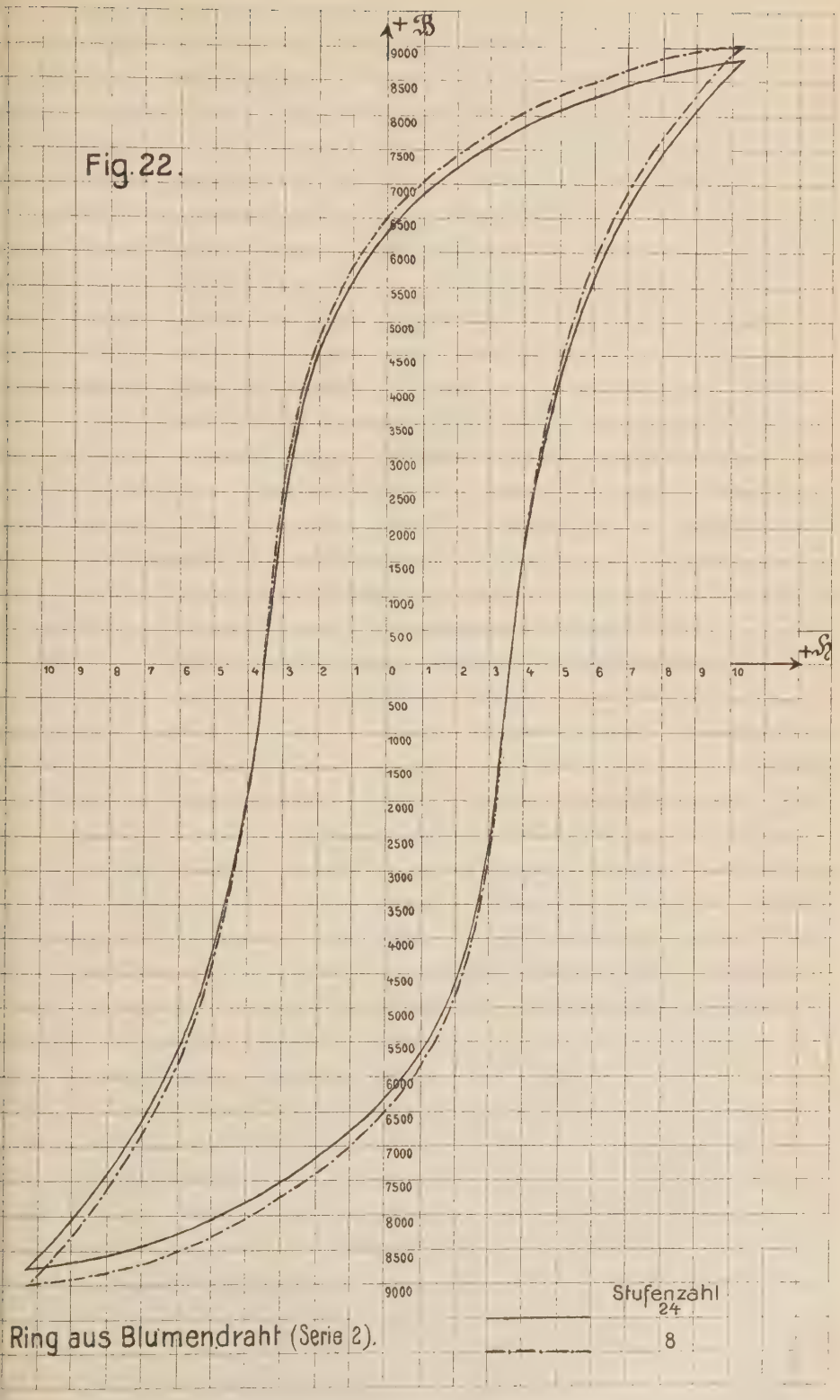
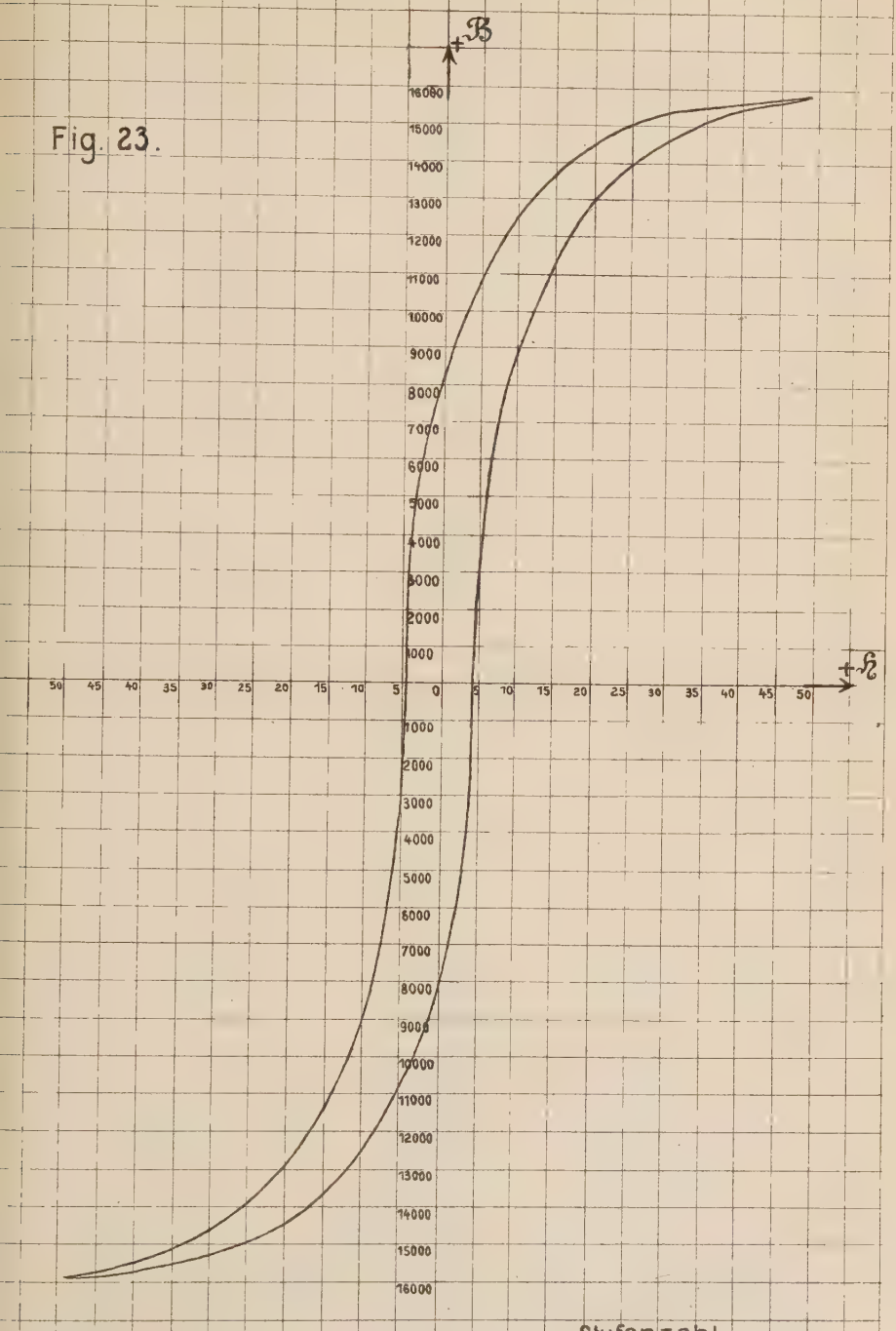


Fig. 22.
+ B
9000
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
+ S
Stufenzahl
24
8
Ring aus Blumendraht (Serie 2).

Fig. 23.

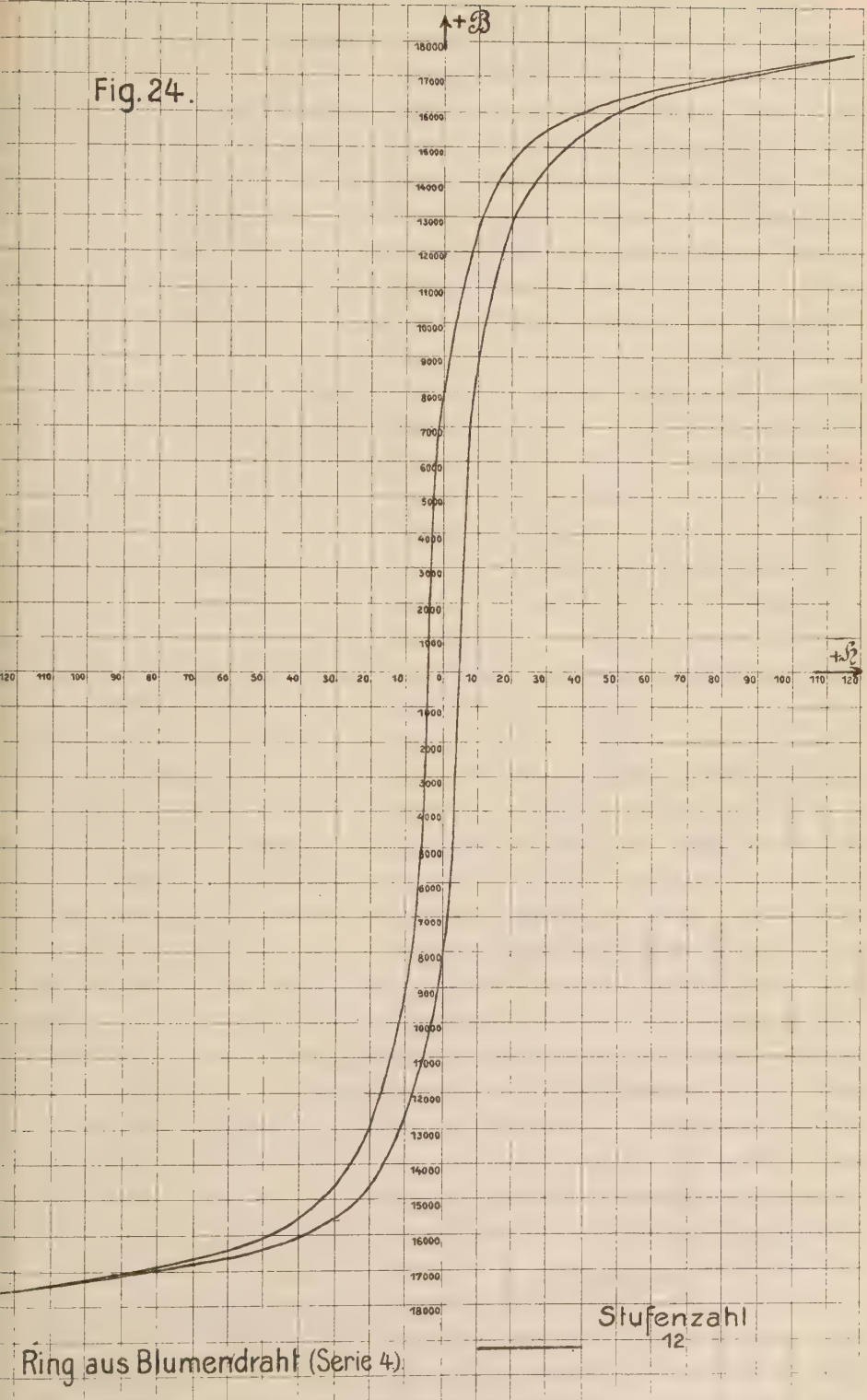



g aus Blumendraht (Serie 3).

Stufenzahl

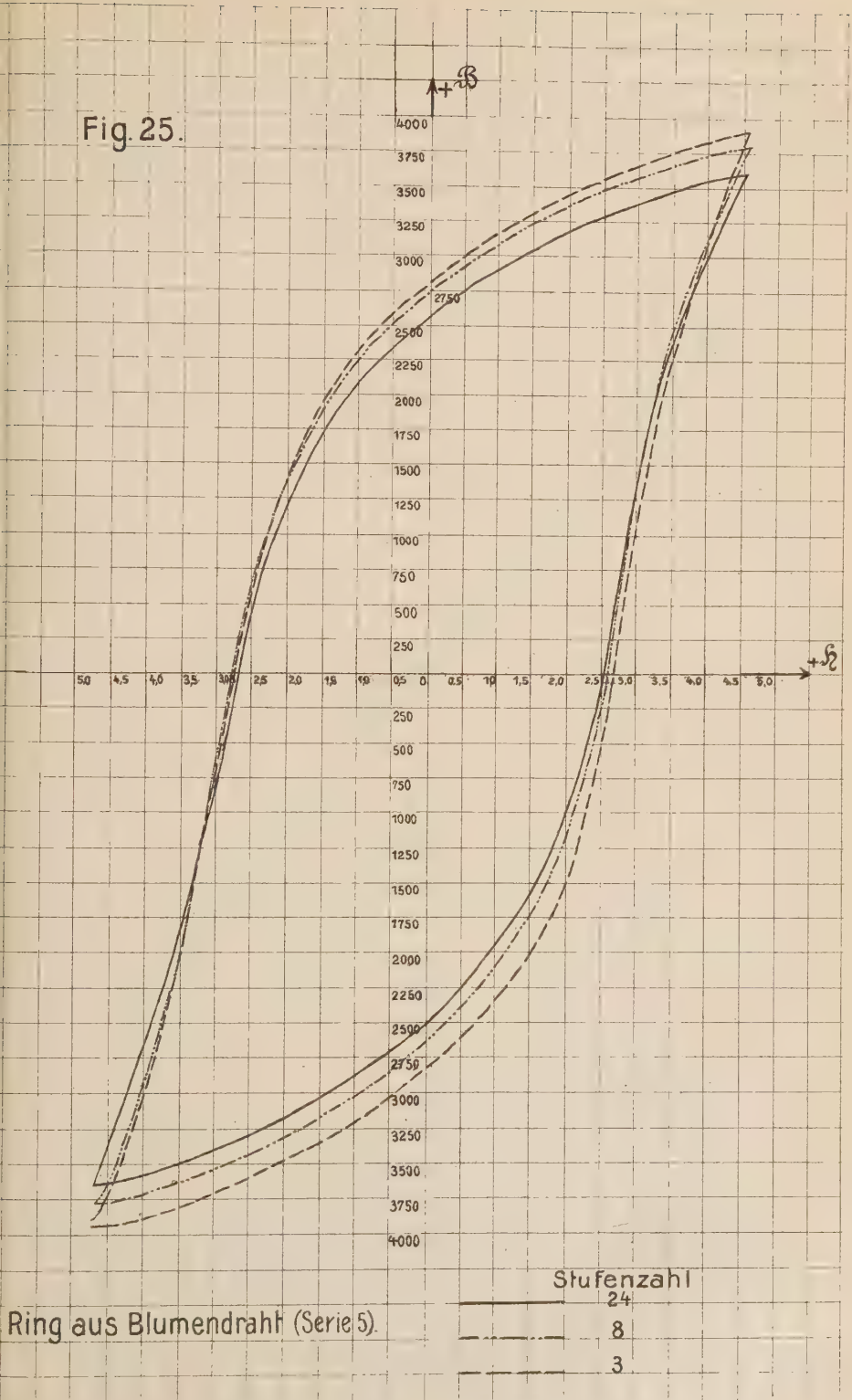
12

Fig. 24.



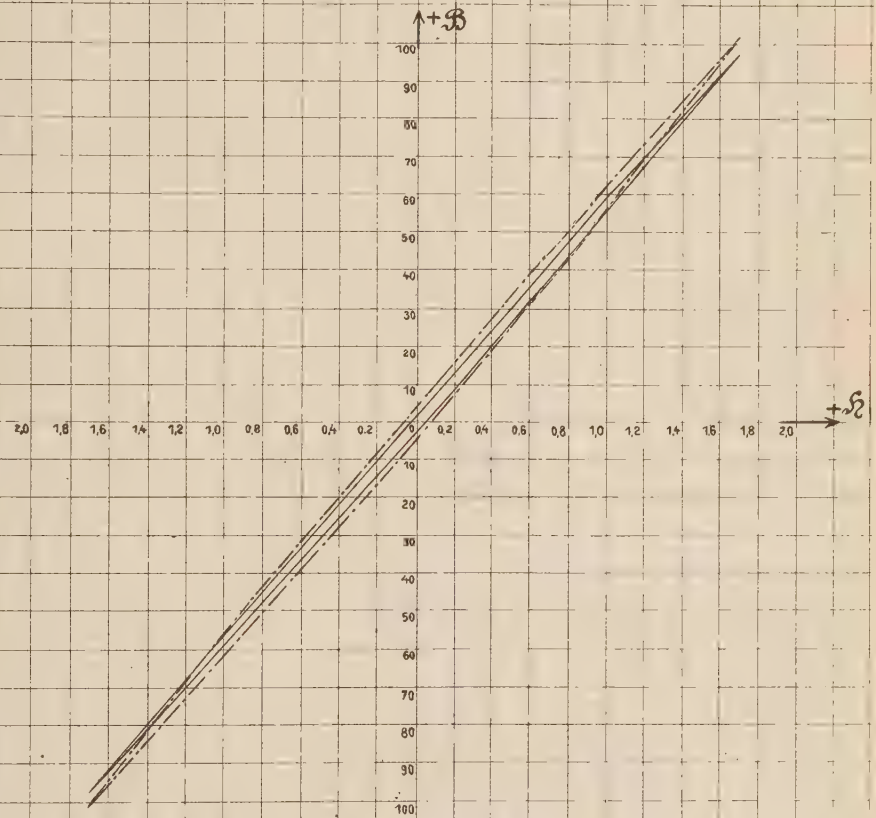

Ring aus Blumendraht (Serie 4).

Fig. 25.




Ring aus Blumendraht (Serie 5).

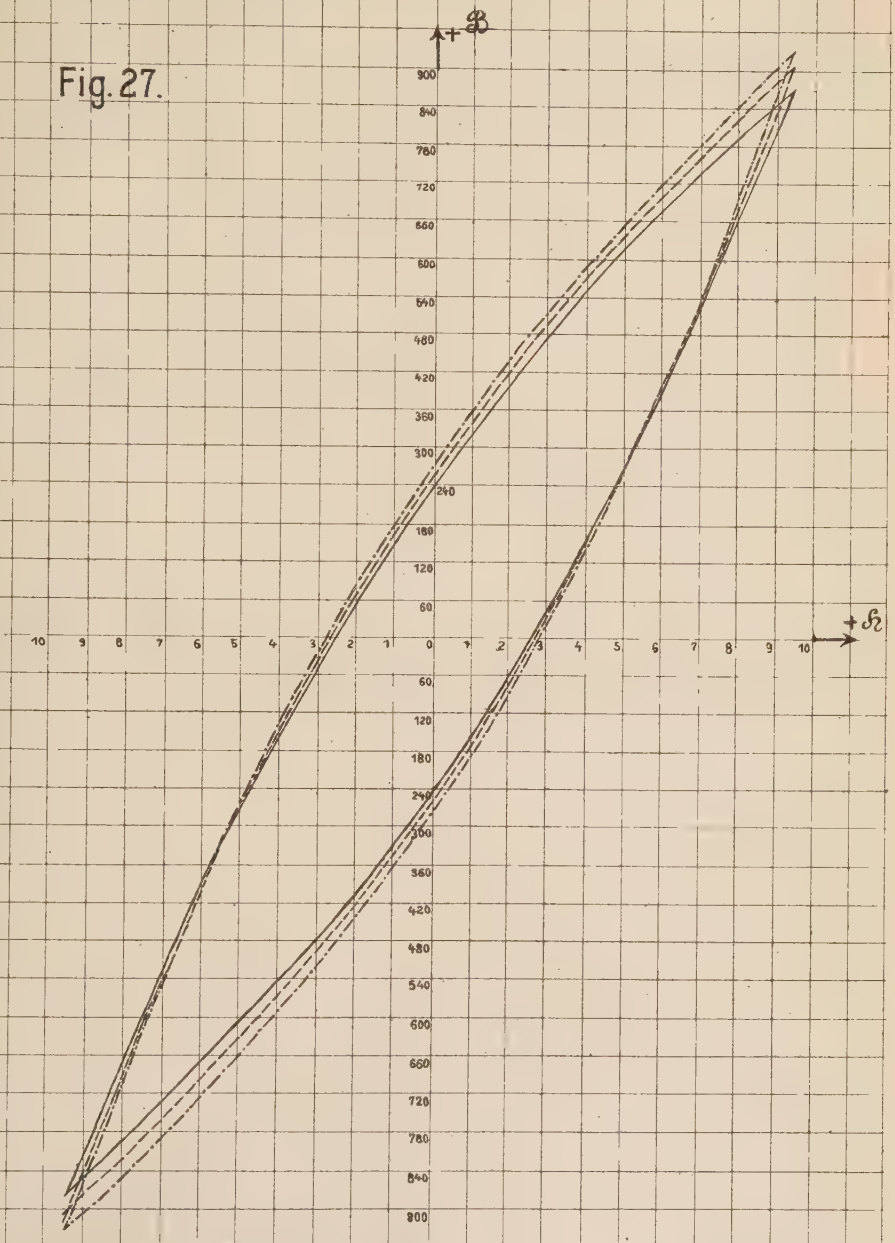
Fig. 26.




Ring aus Stahldraht (Serie 1).

Stufenzahl
24
3

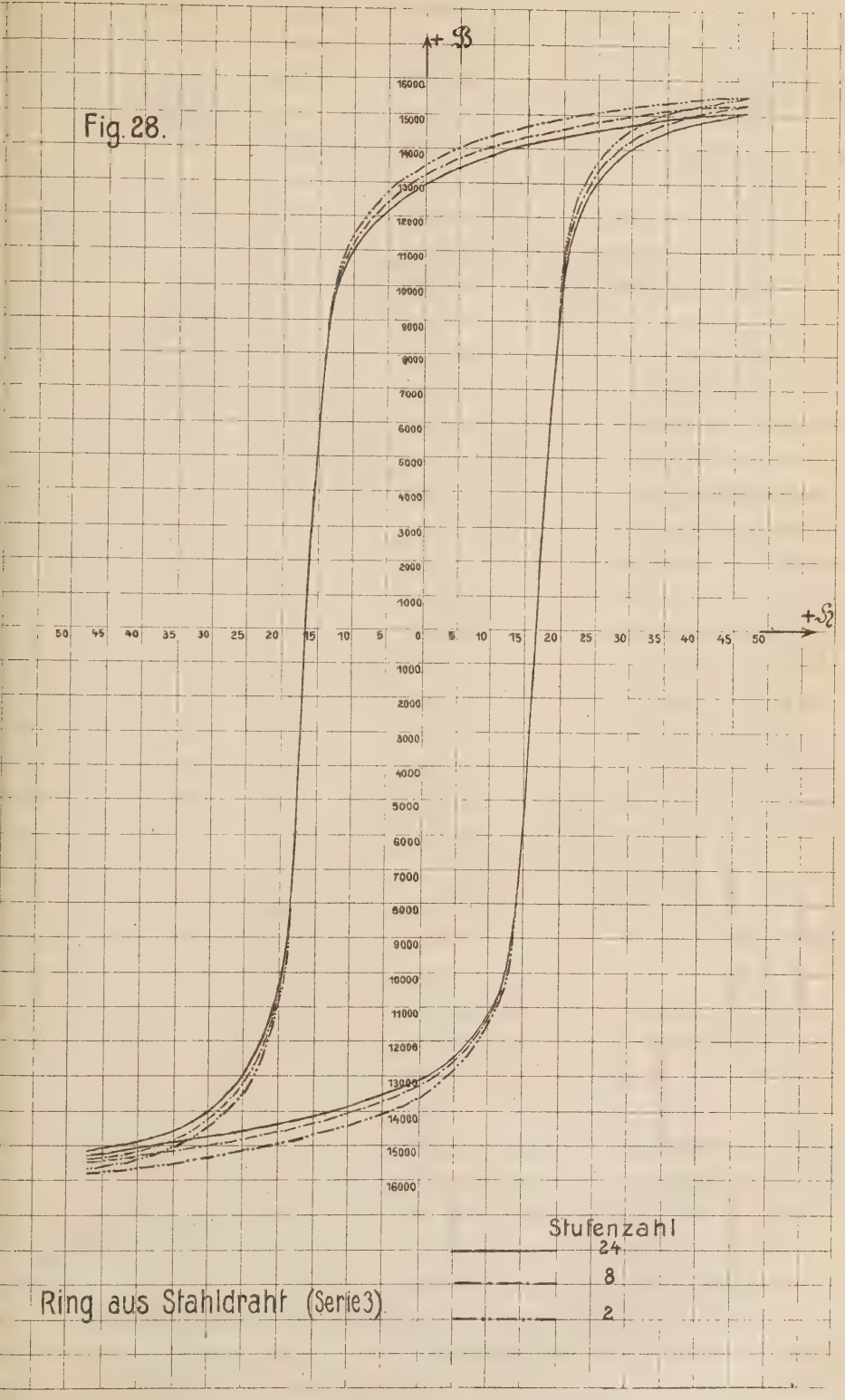
Fig. 27.




Ring aus Stahldraht (Serie 2).

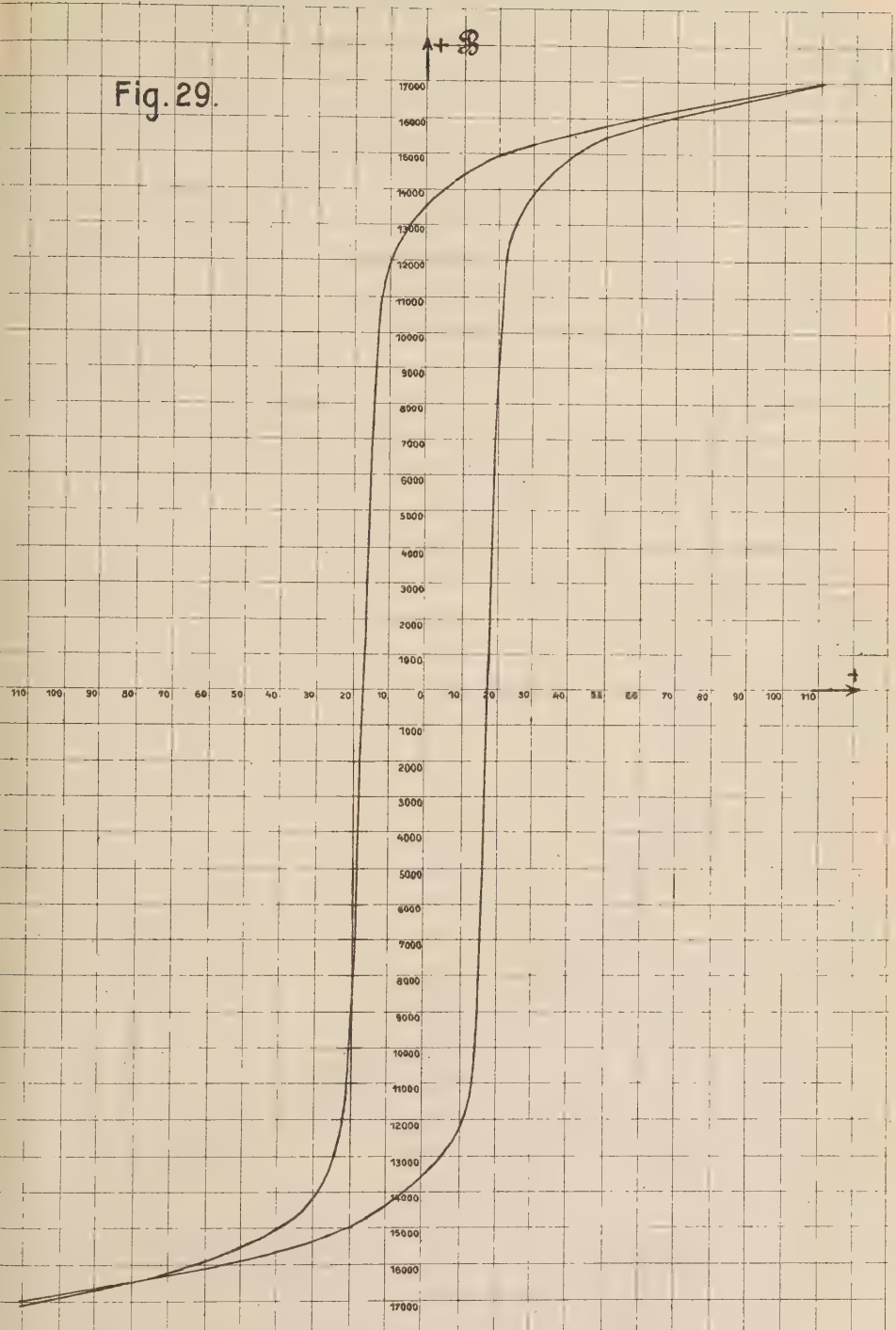
Stufenzahl
24
12
3

Fig. 28.



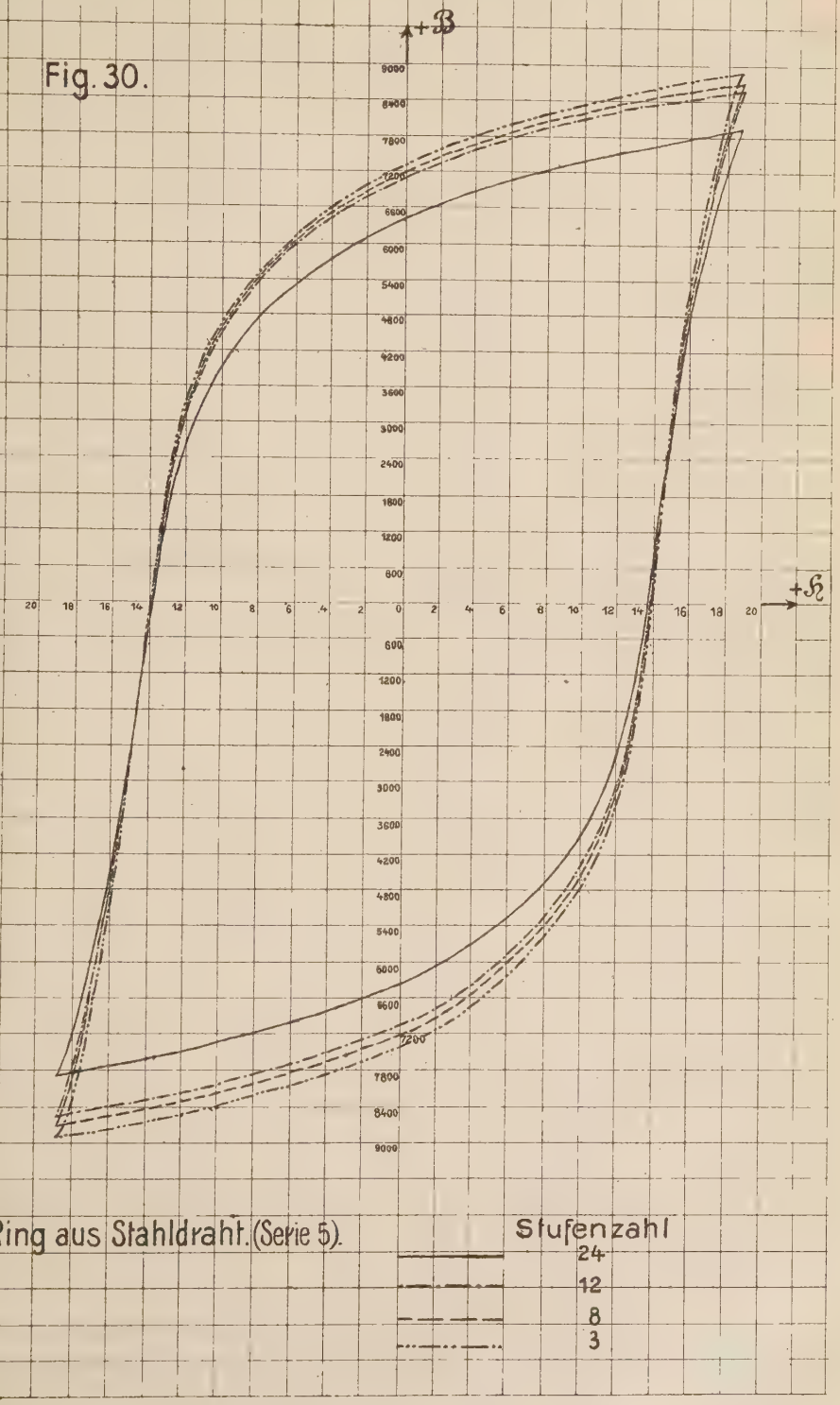

Ring aus Stahldraht (Serie 3).

Fig. 29.




Ring aus Stahldraht (Serie 4) ——— Stufenzahl 12

Fig. 30.




Ring aus Stahldraht. (Serie 5).

Stufenzahl

24

12

8

3

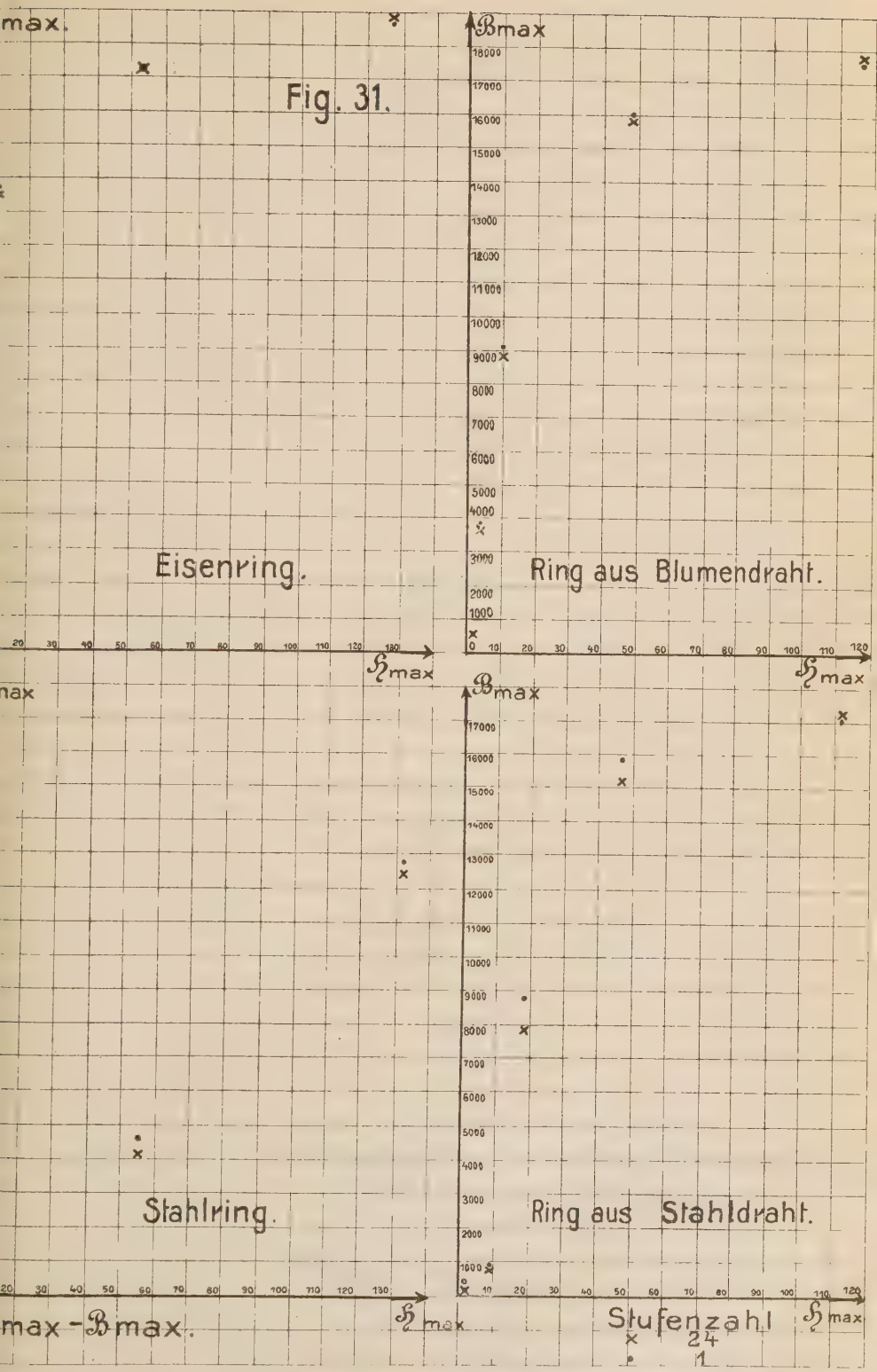
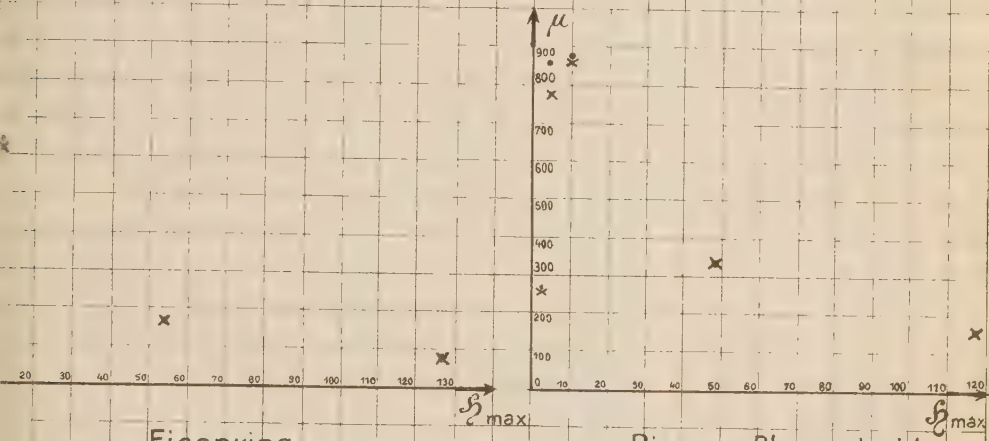
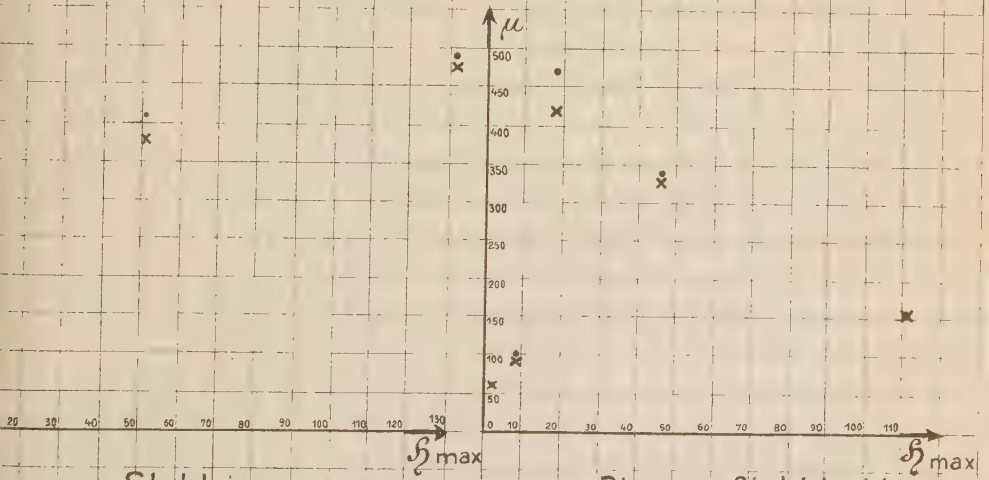


Fig. 31.
Eisenring.
Ring aus Blumendraht.
Stahlring.
Ring aus Stahldraht.
Hmax
Bmax
max - Bmax.
Stufenzahl
24
1

Fig. 32.




Eisenring. Ring aus Blumendraht.




Stahlring. Ring aus Stahldraht.

$\mathfrak{H}_{max} = \mu \mathfrak{B}_{max}$.

Stufenzahl
× 24
• 1

Fig. 33.

# Magnetische Nachwirkung beim Eisenring.

(entsprech. Serie 1 Maximalfeldstärke ca. 1,2. Stufe 15 bei wachsendem $\mathfrak{H}_1$)

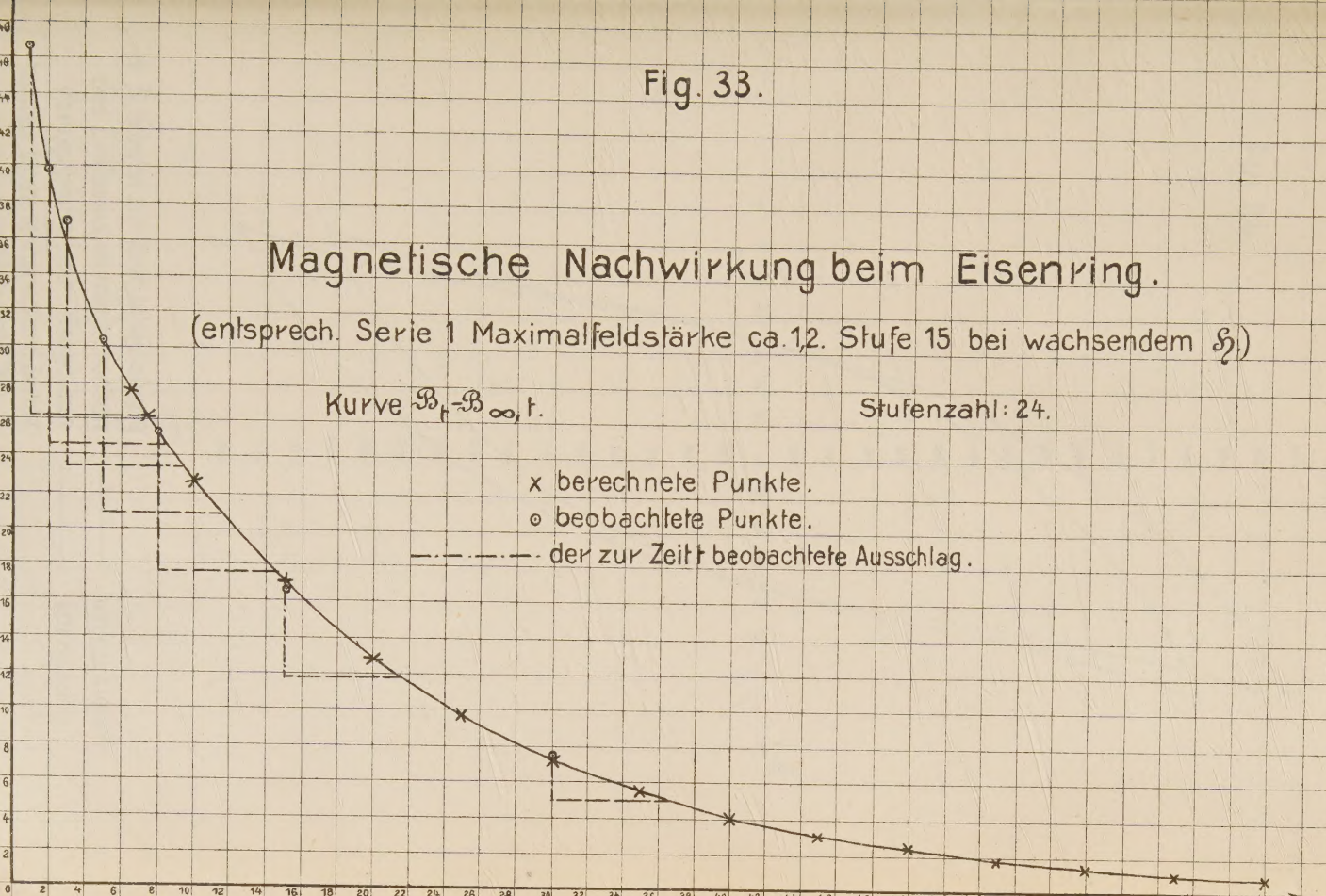
Kurve $\mathfrak{B}_t - \mathfrak{B}_\infty, t$.

Stufenzahl: 24.

x berechnete Punkte.

o beobachtete Punkte.

---·---·--- der zur Zeit t beobachtete Ausschlag.



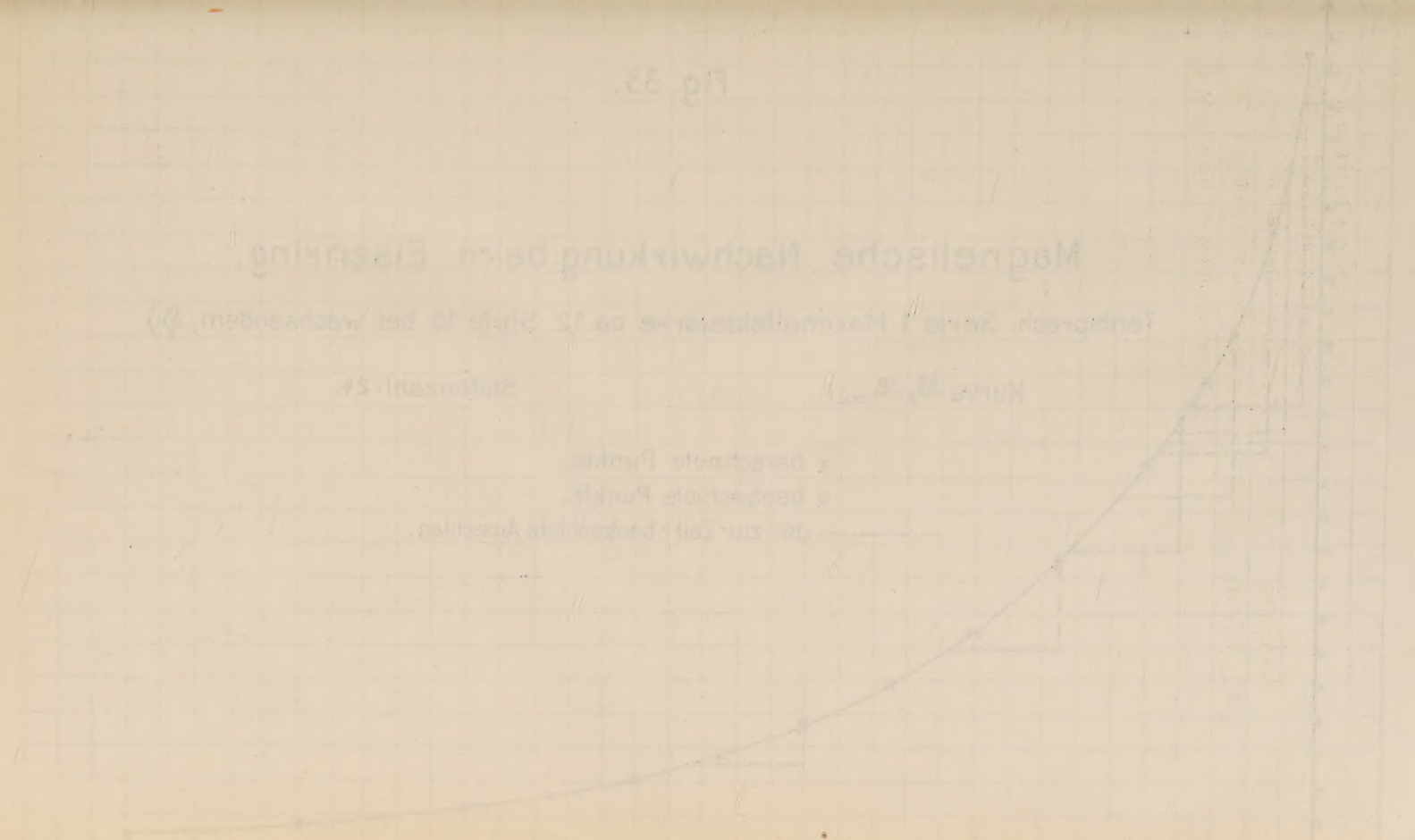
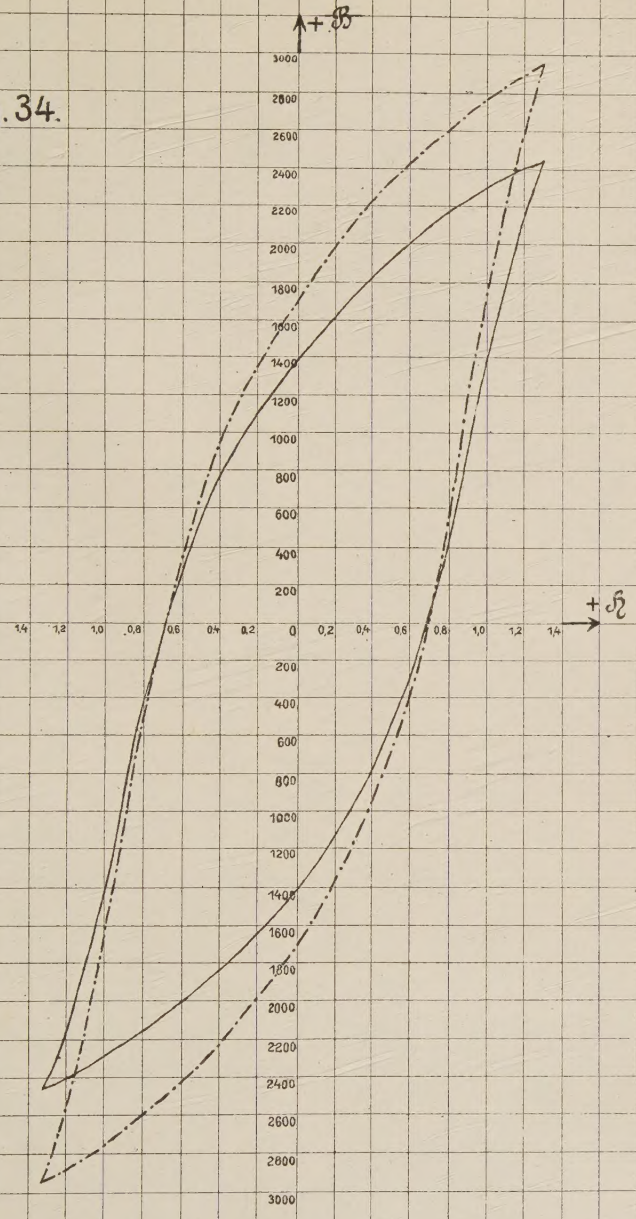


Fig. 34.




H-B Kurven zur Veranschaulichung des Einflusses der magnetischen Verzögerung beim Ringe aus weichem Eisen. (entsprechend Serie 1, H max. ca. 13. Stufenzahl 24).

——— unkorrigiert.
-·-·-·- korrigiert.